

**PENGARUH *RECYCLED COARSE AGGREGATE* (RCA) TERHADAP
KUAT LENTUR BALOK BETON *SELF COMPACTING CONCRETE*
(SCC) BERTULANGAN BAMBU**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ANDRE WIRAKUSUMA TORUAN
NIM. 145060101111055**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *RECYCLED COARSE AGGREGATE* (RCA) TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON *SELF COMPACTING CONCRETE* (SCC) BERTULANGAN BAMBU

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANDRE WIRAKUSUMA TORUAN

NIM. 145060101111055

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 20 Desember 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc
NIP. 201102 841203 2 001

Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT
NIP. 201002 771203 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

Terimakasih untuk Keluarga

Bapak dan Ibu Dosen

Sipil UB angkatan 14

Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Brawijaya

Yang Selalu Saya Banggakan



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Pengaruh *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) Terhadap Kuat Lentur Balok Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) Bertulangan Bambu.

Nama Mahasiswa : Andre Wirakusuma Toruan

NIM : 145060101111055

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

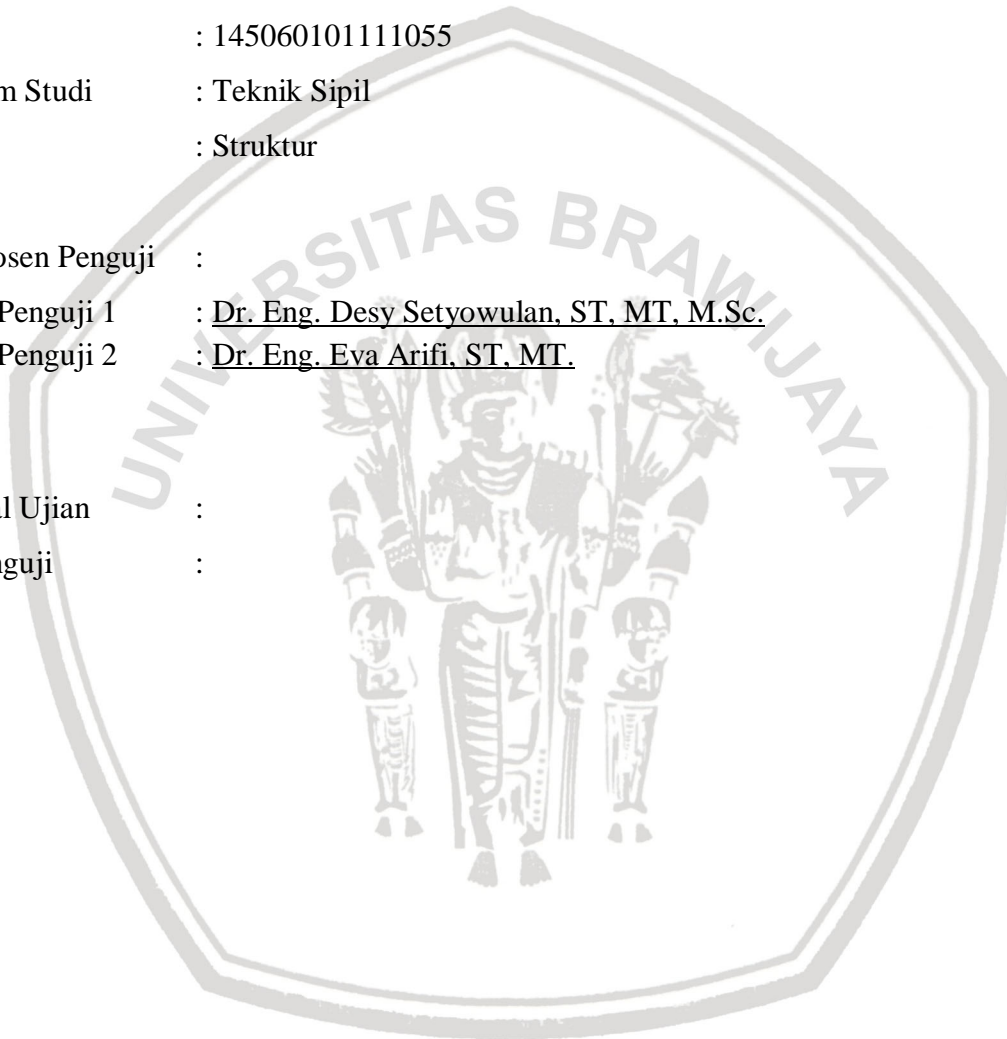
Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT.

Tanggal Ujian :

SK Penguji :



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

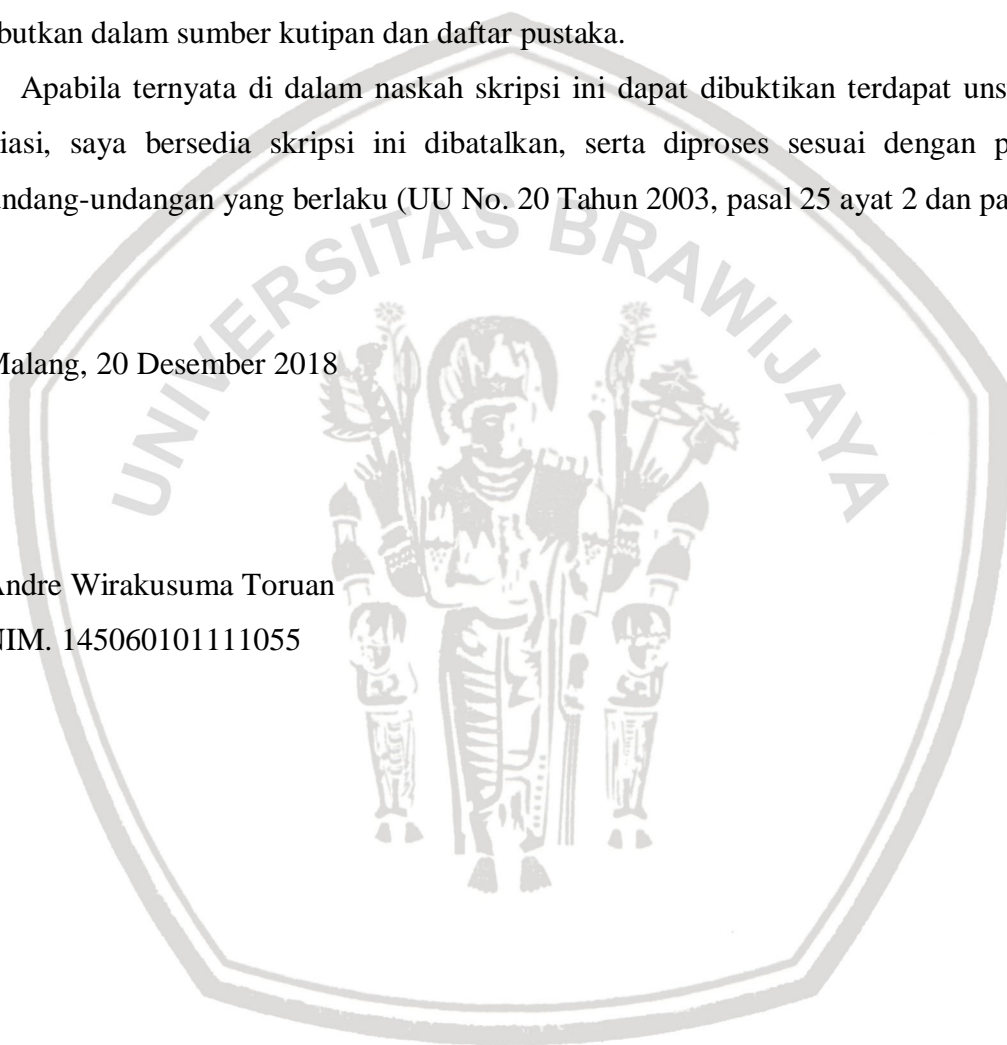
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 20 Desember 2018

Andre Wirakusuma Toruan

NIM. 145060101111055



RIWAYAT HIDUP

Andre Wirakusuma Toruan, lahir di Jakarta, 07 Juli 1996, anak pertama dari Bapak Mayor Inf. Sehat Sihombing dan Ibu Terkelin Juliana Indawati Tarigan. Mulai memasuki bangku sekolah di SDK Seraphine Bakti Utama, Jakarta Barat sejak tahun 2003 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 45 Jakarta Barat dan lulus pada tahun 2011. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 33 Jakarta Barat dan lulus pada tahun 2014. Kemudian berkuliah hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2018 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi kampus. Aktif sebagai Staff Muda Unit Aktivitas Kerohanian Kristen, serta berbagai kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Aktif juga sebagai Ketua Departemen Eksternal Tanoto Scholars Association periode 2016/2017 selaku penerima beasiswa aktif Tanoto Foundation. Dalam kegiatan diluar kampus berpartisipasi pula dalam komunitas Young On Top Malang sebagai staff Personalia General Affair periode 2016/2017, Vice Director Program periode 2017/2018, dan President YOT Malang Batch 8 periode 2018/2019.

Malang, Desember 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa karena atas kasih dan karunia-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh *Recycled Coarse Aggregate (RCA)* Terhadap Kuat Lentur Balok Beton *Self Compacting Concrete (SCC)* Bertulangan Bambu”**.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada :

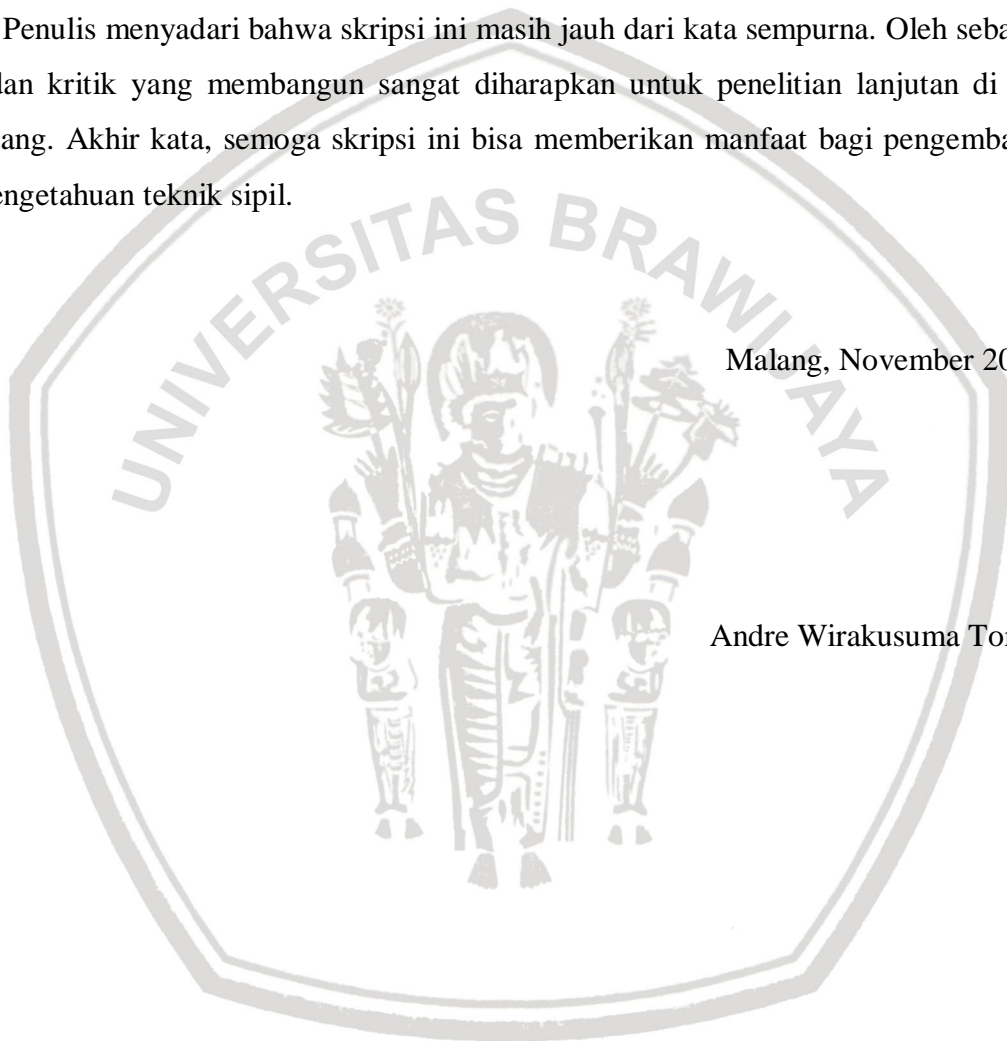
1. Tuhan Yesus Kristus. Yang selalu menyertai setiap langkah saya.
2. Keluarga (Papa, Mama, dan kedua adik saya Anggi dan Ello). Mereka yang selalu mendoakan, memberi kepercayaan kepada saya, dan mendukung saya dalam segala pilihan yang saya ambil. Puji Tuhan skripsi ini dapat saya selesaikan, ini semua tidak lain merupakan salah satu doa yang dikabulkan Tuhan melalui mereka.
3. Bapak Dr. Eng Alwafi Pujiraharjo, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya serta Dosen Penasehat Akademik
4. Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST, MT, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I
5. Ibu Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing II
6. Ibu Dr. Eng. Devi Nurlinah, ST, MT yang selalu memberikan saran dan masukan kepada tim penelitian dalam penyusunan skripsi ini.
7. Tim Penelitian Skripsi (Kanza Syahdi, Fredo Kristhoper, Faishal Dwi, Yusuf Ahmad Syafii, dan DM Tarigan) yang selalu semangat dalam arti yang berbeda. Saya ucapkan terima kasih pada kalian dan semangat untuk didunia pekerjaan masing-masing. Tuhan memberkati kita semua.
8. Keluarga Persekutuan Mahasiswa Kristen Yehezkiel yang selalu menjadi teman saat suntuk.
9. Tanoto Foundation yang telah membantu saya dalam banyak hal, bukan hanya materi.
10. Tanoto Scholars Association Brawijaya yang menjadi keluarga baru penuh semangat dengan berisikan para calon pemimpin di masa yang akan datang.

11. Keluarga Young on Top diseluruh Indonesia, terkhususnya keluarga kecil saya di Malang. Terimakasih atas semua suka duka serta pembelajarannya untuk terus mengingatkan motto “learn and share”
12. Pak Sugeng dan Mas Dino yang telah membantu saya selama di Laboratorium Struktur
13. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan teknik sipil.

Malang, November 2018

Andre Wirakusuma Toruan



RINGKASAN

Andre Wirakusuma Toruan, Teknik Sipil Universitas Brawijaya, November 2018 *Pengaruh Recycled Coarse Aggregate (RCA) terhadap Kuat Lentur Balok Beton Self Compacting Concrete (SCC) Bertulangan Bambu*. Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., MT., M.Sc dan Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT.

Dengan mengedepankan substitusi bahan alternatif terhadap balok beton, penelitian ini menggunakan agregat kasar daur ulang yang dipadukan dengan tulangan alternatif bambu yang dipilin. Dan untuk mendukung kekuatan dari bahan-bahan alternatif tersebut digunakan metode *Self Compacting Concrete* (SCC) atau beton memadat sendiri yang dapat mengisi setiap cela pada bekisting tanpa memerlukan alat pemadat pada umumnya.

Dengan membuat benda uji balok berukuran 15 cm x 25 cm x 160 cm bertulangan bambu pilin. Dimana tulangan bambu yang digunakan terdiri dari 3 batang bambu yang masing-masing memiliki ukuran diameter 4 mm dan panjang 150 cm. Masing-masing benda uji digunakan variasi yaitu 100% agregat kasar daur ulang dan 100% agregat kasar normal. Pengujian yang dilakukan berupa uji tekan pada benda uji silinder dengan menggunakan ekstensometer serta uji lentur dan lendutan pada benda uji balok yang menggunakan LVDT. Sehingga didapatkan beban dan lendutan yang terjadi pada balok beton SCC bertulangan bambu dengan variasi material agregat kasar yang berbeda.

Hasil penelitian yang didapatkan adalah substitusi agregat kasar daur ulang pada balok SCC berpengaruh terhadap kuat tekan silinder dan kuat lentur balok. Jika dibandingkan dengan benda uji SCC normal yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 27,39 MPa, kuat tekan benda uji SCC dengan agregat kasar daur ulang hanya memiliki rata-rata sebesar 21,96 MPa. Begitu pula dengan kuat lentur. Benda uji dengan material agregat kasar normal memiliki nilai rata-rata sebesar 2466,67 Kg, sedangkan benda uji agregat kasar daur ulang memiliki nilai rata-rata 2133,33 Kg. Lendutan yang terjadi pada balok SCC dengan agregat kasar normal adalah sebesar 2,2 mm dan lendutan pada balok dengan material agregat kasar daur ulang adalah sebesar 1,95 mm. Ini dikarenakan balok SCC dengan agregat kasar normal memiliki fase plastis yang seiring dengan kemampuan balok dalam mengalami deformasi.

Kata kunci :Balok, kuat tekan, kuat lentur, lendutan, bambu pilin, agregat kasar daur ulang, dan SCC.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN.....	xi
SUMMARY	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Peneltitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Balok	5
2.2 Tulangan Bambu	6
2.3 <i>Self Compacting Concrete (SCC)</i>	8
2.3.1 <i>Superplasticizer</i>	8
2.3.2 <i>Kriteria Mix-Design SCC</i>	9
2.4 Agregat Kasar Daur Ulang	9
2.5 Karakteristik Beton	10
2.5.1 Kuat Tekan	10
2.5.2 Modulus Elastisitas.....	11
2.5.3 Kuat Lentur	13
2.6 Lendutan dan Kekakuan	14
2.7 Penelitian Terdahulu	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	17
3.2 Rancangan Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	18
3.4 Analisa Bahan	19
3.5. AlirDiagram Penelitian	21

3.6	Prosedur Penelitian	22
3.7	Prosedur Pengujian.....	23
3.7.1	Uji Kuat Tekan.....	23
3.7.2	Uji Kuat Lentur	23
3.8	Metode Analisis Data.....	24
3.9	Hipotesis Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Hasil Analisa Pengujian Bahan Penyusun Beton.....	27
4.1.1	Analisa Agregat Halus.....	27
4.1.2	Analisa Agregat Kasar Normal	30
4.1.3	Analisa Agregat Kasar Daur Ulang.....	33
4.1.4	<i>Mix Design</i> Beton.....	35
4.2	Hasil Pengujian Benda Uji.....	36
4.2.1	Pengujian Beton Segar (<i>Uji Slump Flow</i>)	36
4.2.2	Pengujian Kuat Tekan	38
4.2.3	Kekakuan Benda Uji	49
4.2.4	Uji Modulus Elastisitas (<i>Extensometer</i>)	50
4.3	Pemodelan Pengujian Kuat Lentur Balok	56
4.4	Hasil Pengujian Balok	57
4.4.1	Perhitungan beban teoritis.....	61
4.5	Analisa Lentur Balok.....	63
4.5.1	Lendutan Aktual	63
4.5.2	Lendutan Teoritis.....	64
4.5.3	Perbandingan Lendutan Aktual dan Teoritis.....	66
4.6	Kekakuan Balok	67
4.7	Analisa Pola Retak Balok	68
4.7.1	Pola Retak Balok NCA	68
4.7.2	Pola Retak Balok RCA	71
BAB V PENUTUP.....		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Variasi benda uji	18
Tabel 3.2	Form data benda uji balok	24
Tabel 4.1	Hasil analisa gradasi agregat halus	27
Tabel 4.2	Hasil analisa kadar air agregat halus	29
Tabel 4.3	Pemeriksaan berat isi agregat halus	30
Tabel 4.4	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.....	30
Tabel 4.5	Hasil analisa gradasi agregat kasar	31
Tabel 4.6	Hasil analisa kadar air agregat kasar normal	32
Tabel 4.7	Pemeriksaan berat isi agregat kasar normal.....	32
Tabel 4.8	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar normal.....	32
Tabel 4.9	Hasil analisa gradasi agregat kasar daur ulang	33
Tabel 4.10	Hasil analisa kadar air agregat kasar daur ulang.....	34
Tabel 4.11	Pemeriksaan berat isi agregat kasar daur ulang	34
Tabel 4.12	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar daur ulang	34
Tabel 4.13	Mix design SCC	35
Tabel 4.14	Data uji <i>slump flow</i>	37
Tabel 4.15	Penjadwalan benda uji.....	37
Tabel 4.16	Hasil pengujian kuat tekan silinder dan berat silinder	39
Tabel 4.17	Data kekakuan benda uji silinder	49
Tabel 4.18	Hasil modulus elastisitas menurut Eurocode-2 atau Wang dan Salmon	52
Tabel 4.19	Hasil modulus elastisitas menurut rumus ASTM C-469.....	53
Tabel 4.20	Hasil modulus elastisitas menurut SKSNI T-15-1991	54
Tabel 4.21	Nilai modulus elastisitas antar metode perhitungan.....	55
Tabel 4.22	Hasil beban aktual	60
Tabel 4.23	Data kuat tarik <i>Pull-Out</i>	60
Tabel 4.24	Perbandingan beban aktual dan teoritis	62
Tabel 4.25	Hasil lendutan aktual	63
Tabel 4.26	Perbandingan lendutan aktual dan teoritis	66
Tabel 4.27	Kekakuan balok SCC bertulangan bambu	67



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema balok beton.....	5
Gambar 2.2	Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja.....	8
Gambar 2.3	<i>Superplasticizer</i>	9
Gambar 2.4	Tegangan tekan benda uji beton	11
Gambar 2.5	Diagram hubungan kuat beton dengan umur beton.....	12
Gambar 3.1	Skema pengujian kuat tekan silinder	23
Gambar 3.2	Skema pengujian benda uji balok	24
Gambar 4.1	Gradasi pasir	28
Gambar 4.2	Gradasi agregat kasar normal	31
Gambar 4.3	Gradasi agregat kasar daur ulang	33
Gambar 4.4	Uji <i>Slump Flow</i>	36
Gambar 4.5	Proses pencampuran material beton menggunakan <i>mixer</i>	38
Gambar 4.6	Proses pengujian kuat tekan silinder beton	39
Gambar 4.7	Hasil pengujian kuat tekan silinder beton	40
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 1.1	41
Gambar 4.9	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 1.2	41
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 2.1	42
Gambar 4.11	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 2.2	42
Gambar 4.12	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 3.1	43
Gambar 4.13	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 3.2	43
Gambar 4.14	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 4.1	44
Gambar 4.15	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 4.2	44
Gambar 4.16	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 5.1	45
Gambar 4.17	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 5.2	45
Gambar 4.18	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 6.1	46
Gambar 4.19	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan NCA 6.2	46
Gambar 4.20	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan silinder NCA.....	47
Gambar 4.21	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan silinder RCA	47
Gambar 4.22	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan silinder 1.1 (NCA)	51
Gambar 4.23	Grafik hubungan antara tegangan dan regangan silinder 1.2 (NCA)	53
Gambar 4.24	Pemodelan pengujian balok.....	56

Gambar 4.25	Grafik hubungan antara beban dan deformasi balok 1 (NCA).....	56
Gambar 4.26	Grafik hubungan antara beban dan deformasi balok 2 (NCA).....	57
Gambar 4.27	Grafik hubungan antara beban dan deformasi balok 3 (NCA).....	57
Gambar 4.28	Grafik hubungan antara beban dan deformasi balok 4 (RCA)	58
Gambar 4.29	Grafik hubungan antara beban dan deformasi balok 5 (RCA)	58
Gambar 4.30	Grafik hubungan antara beban dan deformasi balok 6 (RCA)	59
Gambar 4.31	Contoh nilai beban batas elastis.....	64
Gambar 4.32	Balok 1 (NCA) setelah diuji	68
Gambar 4.33	Detail retak balok 1 (NCA)	68
Gambar 4.34	Balok 2 (NCA) setelah diuji	69
Gambar 4.35	Detail retak balok 2 (NCA)	69
Gambar 4.36	Balok 3 (NCA) setelah diuji	70
Gambar 4.37	Detail retak balok 3 (NCA)	70
Gambar 4.38	Balok 4 (NCA) setelah diuji	71
Gambar 4.39	Detail retak balok 4 (NCA)	71
Gambar 4.40	Balok 5 (NCA) setelah diuji	72
Gambar 4.41	Detail retak balok 5 (NCA)	72
Gambar 4.42	Balok 6 (NCA) setelah diuji	73
Gambar 4.43	Detail retak balok 6 (NCA)	74

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data Pengujian Material	68
Lampiran 2	Data Pengujian Kuat Tekan Beton	88
Lampiran 3	Analisis Balok	121
Lampiran 4	Dokumentasi penelitian.....	151





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, semakin banyak teknologi dan penemuan baru dalam bidang konstruksi. Perkembangan teknologi atau penemuan ini dipacu oleh kebutuhan untuk berbagai persoalan konstruksi. Mulai dari permasalahan sumber daya alam dan dampak terhadap lingkungan hingga permasalahan efektif dan efisiennya pengerjaan suatu konstruksi. Berbagai penelitian mencoba mencari solusi masalah tersebut, khususnya pada teknologi beton. Diantaranya adalah dengan ditemukannya bahan-bahan alternatif yang dapat menggantikan bahan-bahan yang biasa digunakan di lingkup konstruksi terutama beton.

Bambu merupakan salah satu solusi dari beberapa permasalahan konstruksi. Dalam beberapa penelitian, bambu dipercaya mampu menggantikan tugas beberapa logam yang biasa dipakai dalam bidang konstruksi. Berbeda dengan bambu yang dapat dibudidayakan, unsur logam adalah unsur yang dapat habis dalam jangka waktu tertentu. Logam yang sering dipakai di bidang konstruksi antara lain adalah baja yang biasanya dipakai untuk menjadi tulangan pada balok atau kolom. Pada penelitian terdahulu, diketahui bahwa bambu memiliki kuat tarik yang hampir setara dengan kuat tarik baja sehingga bambu mampu menjadi pengganti baja sebagai tulangan pada balok atau kolom. Namun, bambu juga memiliki sifat yang merugikan ketika dijadikan tulangan pada beton. Telah diketahui bahwa ternyata bambu dapat mengembang ketika terkena air, hal ini tidak dapat dihindari pada proses pencampuran beton. Lalu ketika beton tersebut mengeras, bambu yang tadinya mengalami pembesaran volume akan menyusut dan akhirnya menyisakan celah pada beton. Hal tersebut berdampak pada kekuatan beton. Oleh karena itu, muncullah sebuah solusi campuran beton yang memiliki kadar air yang rendah untuk mengurangi permasalahan tersebut.

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan salah satu metode pencampuran beton dengan bahan admixture yang dalam prosesnya akan mengurangi kadar air pada campurannya jika dibandingkan dengan beton normal. Beton yang dapat memadat sendiri ini (*Self Compacting Concrete* - SCC) dapat menutupi segala celah pada bekisting karena

memiliki workability yang baik. Keuntungan lain dari *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah pencetakan on-site tanpa perlu menggunakan vibrator. Seperti yang diketahui, alat vibrator dapat menyebabkan polusi suara yang mengganggu pendengaran masyarakat sekitar proyek ataupun para pekerja proyek tersebut. Dengan menggunakan bahan tambahan seperti Superplastisizer, maka kita bisa mendapatkan beton yang dapat mengalir atau memadat sendiri tanpa bantuan vibrator. Namun, hal lain yang perlu diperhatikan adalah walaupun biaya berkurang akibat tidak dipakainya vibrator dan pekerja tambahan, tentunya akan ada biaya tambahan untuk bahan admixture / *superplasticizer* tersebut. Dengan biaya yang bertambah, diperlukannya solusi untuk tetap menjaga total biaya untuk SCC agar tidak jauh berbeda dengan beton konvensional. Maka dari itu, diperlukan material alternatif sebagai penyeimbang biaya tersebut.

Beton daur ulang menjadi sebuah trend yang positif saat ini. Sudah banyaknya penelitian menggunakan agregat daur ulang untuk menciptakan beton yang ramah lingkungan dan tentunya lebih murah dibanding beton dengan material alam yang biasa digunakan. Daur ulang material dapat menjadi solusi untuk mengurangi biaya pembuatan sebuah beton. Beton dapat dibuat dengan material bekas yang biasa disebut *Recycled Coarse Aggregate* (RCA). RCA merupakan agregat kasar yang didapat dari pecahan beton yang sudah tidak terpakai. Beton RCA juga dapat menjadi jawaban permasalahan limbah bangunan di Indonesia. Namun, belum diketahui bagaimana kekuatan material RCA ini jika disandingkan dengan *Self Compacting Concrete* (SCC) sebelumnya. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh agregat kasar daur ulang (RCA) terhadap balok *Self Compacting Concrete* (SCC) yang memiliki tulangan bambu.

1.2 Identifikasi Masalah

Berangkat dari latar belakang tersebut, maka diperlukannya identifikasi agar pembahasan tidak menyimpang dari penelitian ini. Berikut adalah uraian identifikasi masalah :

1. Kuat lekat beton bertulangan bambu masih rendah sehingga seringkali terjadi keruntuhan akibat slip
2. Belum diketahuinya pengaruh agregat kasar daur ulang terhadap balok SCC yang bertulangan bambu
3. Karakteristik yang diteliti adalah kuat tekan beton dan lentur balok

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh agregat kasar daur ulang (RCA) terhadap balok beton SCC yang memiliki tulangan bambu?
2. Berapakah nilai kekuatan balok SCC bertulangan bambu ketika menggunakan agregat kasar daur ulang dengan komposisi 0%, dan 100% ?
3. Bagaimana pola retak yang akan terjadi pada balok SCC bertulangan bambu ketika ditambahkan agregat kasar daur ulang dengan komposisi 0%, dan 100% ?

1.4 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan batasan-batasan penelitian sebagai berikut :

1. Pengujian penelitian ini dilakukan di laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Agregat kasar daur ulang (RCA) didapat dari limbah beton mutu K-300 s/d K-350
3. Agregat kasar yang digunakan berukuran 5 - 20 mm
4. Variasi komposisi agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 0%, dan 100%
5. Proses curing pada benda uji dilakukan selama 14 hari dan diuji pada hari ke-28
6. Benda uji yang dibuat adalah balok berukuran 15 cm x 25 cm x 160 cm
7. Jenis bambu yang dipakai adalah bambu petung dengan cara dipilin
8. *Chemical admixture* yang digunakan adalah *Viscocrete* produksi PT. Sika Nusa Pratama
9. Pengujian beton segar dengan melakukan uji *filling ability* menggunakan alat *Slump Cone*
10. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Pozzolan Cement* (PPC) dari PT. Semen Gresik
11. Pengujian kuat lentur terhadap benda uji balok dan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh dari agregat kasar daur ulang yang tercampur pada balok SCC dengan tulangan bambu

2. Untuk mengetahui nilai kuat lentur dari variasi komposisi agregat kasar daur ulang sebesar 0%, dan 100% terhadap balok SCC bertulangan bambu
3. Untuk mengetahui pola retak yang terjadi dari balok SCC bertulangan bambu dengan campuran agregat kasar daur ulang berkomposisi 0%, dan 100%

1.6 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, diharapkan dapat membantu penelitian-penelitian selanjutnya mengenai *Self Compacting Concrete* (SCC) , agregat kasar daur ulang (*Recycled Coarse Aggregate* - RCA) maupun penelitian mengenai bambu. Diharapkan pula agar terbantunya perkembangan teknologi konstruksi beton di Indonesia.



BAB II

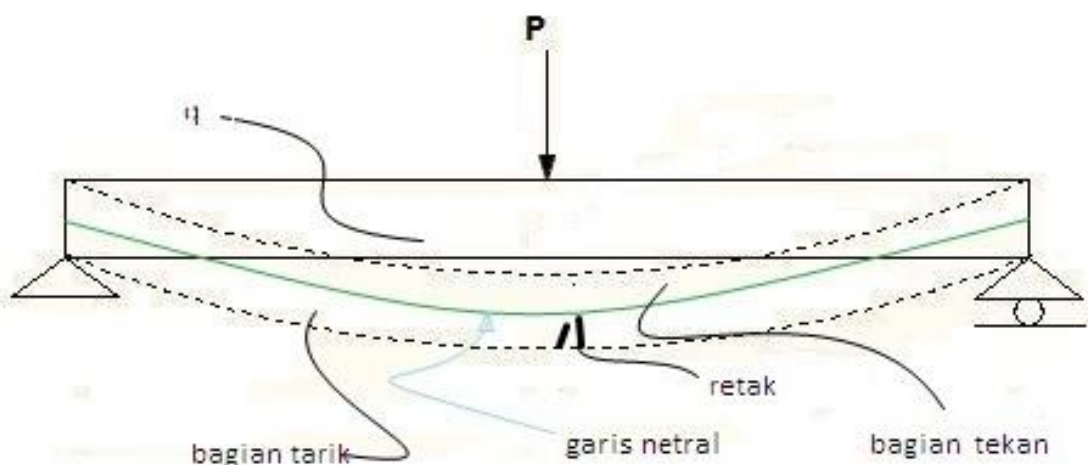
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok

Dalam sebuah struktur bangunan terdapat balok yang berfungsi untuk memikul beban lateral. Sebuah balok beton sangat ampuh dalam menahan beban tekan, namun lemah terhadap beban tarik. Beban tarik yang terjadi pada balok akan ditahan oleh tulangnya. Sedangkan tegangan geser yang terjadi ditahan oleh sengkang-sengkang atau tulangan miring yang disesuaikan dengan perhitungan yang ada.

Balok adalah elemen beton yang akan menerima beban lateral pada struktur, balok juga dapat diartikan sebagai penyambung antar elemen bangunan khususnya kolom untuk saling mentransfer beban yang terjadi.

Pada sebuah bangunan, balok beton sangat kuat ketika menghadapi gaya tekan, namun sangat lemah terhadap gaya tarik. Gaya tarik tersebut akan menyebabkan retak pada balok. Pada gambar terdapat retak pada bidang yang mengalami gaya tarik. Hal tersebut dapat dicegah dengan memberi tulangan pada balok. Tulangan pada balok akan menahan gaya tarik yang terjadi, sedangkan gaya tekan pada bagian atas akan tetap ditahan oleh balok.



Gambar 2.1 Skema Balok Beton

2.2 Tulangan Bambu

Bambu adalah tanaman berumpun yang dapat dibudidayakan. Terdapat setidaknya 60 jenis bambu di Indonesia yang hidup di dataran rendah ataupun dataran tinggi. Bambu memiliki sifat yang cocok untuk dijadikan material bangunan. Bambu memiliki sifat mudah dibentuk, keras, dan memiliki kekuatan yang baik. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa bambu dapat dijadikan sebagai bahan alternatif dalam sebuah struktur bangunan, mulai dari tulangan, rangka dan struktur lainnya.

Tanaman ini memiliki beberapa kelebihan sehingga dinilai mampu menjadi alternatif bahan konstruksi. Sebagai tulangan bambu dapat disaingkan dengan baja yang memiliki kuat tarik yang tinggi. Bambu juga merupakan sumber daya yang tidak akan habis jika dibandingkan dengan logam seperti baja. Dan karena hal itu pula, bambu memiliki nilai jual yang relatif lebih murah dibanding baja. Bambu juga memiliki bobot yang ringan dibandingkan dengan tulangan baja pada umumnya. Walau demikian, bambu memiliki beberapa kekurangan yang harus diperhatikan.

Terdapat sifat bambu dalam lingkup konstruksi yang harus diwaspadai. Bambu sangatlah mudah terbakar. Begitu juga dengan kuat lekatnya yang kurang baik saat dijadikan tulangan sehingga dapat mengalami slip ketika menahan beban. Dan yang terakhir bambu mudah menyerap air. Sifat menyerap ini dapat merugikan ketika bambu dipakai menjadi tulangan pada beton. Bambu akan menyerap air yang seharusnya menjadi campuran beton sehingga kadar air pada campuran yang seharusnya menjadi berkurang. Pada saat menyerap air, bambu akan mengembang, dan ketika beton itu mengeras bambu akan kembali menyusut. Oleh sebab itu, bambu perlu diberikan perlakuan khusus berupa lapisan yang kedap air seperti dilapisi cat, melamin dan sebagainya. Lalu bambu dapat kita lumuri dengan pasir sehingga bambu tidak menyerap air yang membuatnya mengembang. Hal ini akan meningkatkan kuat lekat bambu sebagai tulangan.

Dalam penelitian-penelitian sebelum ini, bambu sudah digunakan sebagai alternatif tulangan baja. Diketahui bahwa bambu memiliki kuat tarik yang cukup sehingga cocok jika dikombinasikan dengan beton yang memiliki kuat tekan tinggi namun kuat tariknya yang rendah. Berikut adalah beberapa kelebihan bambu sebagai tulangan pada beton :

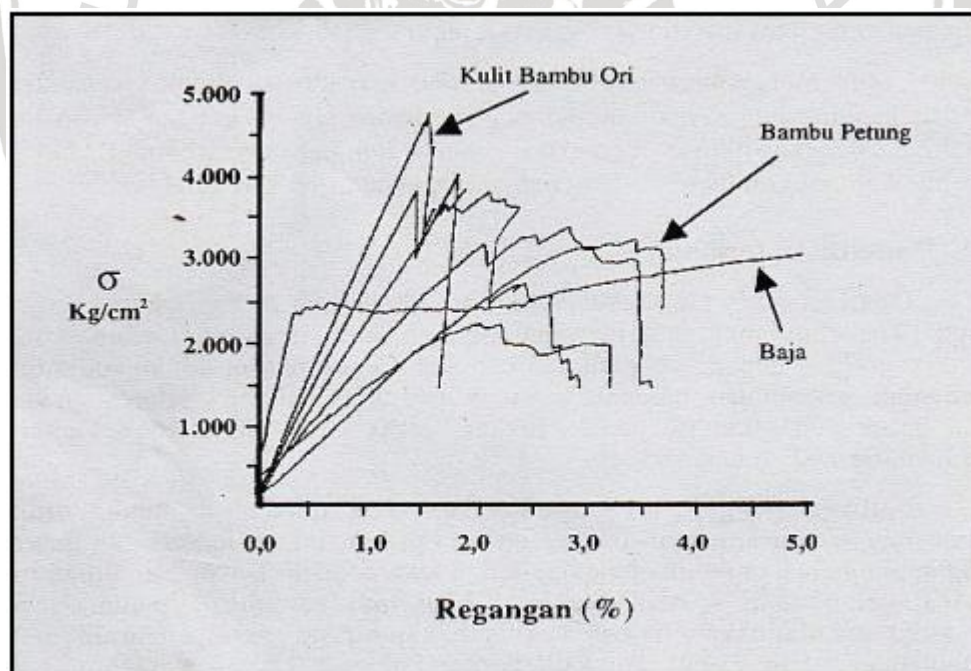
- Tulangan bambu lebih murah dibanding dengan tulangan baja
- Bambu dapat diperoleh dengan mudah
- Bambu merupakan tanaman sehingga merupakan SDA yang dapat diperbaharui
- Pertumbuhan tanaman bambu cukup cepat

- Bambu lebih ringan jika dibanding baja
- Kuat tarik bambu cukup untuk menggantikan baja sebagai tulangan
- Mudah dibentuk

Dapat diketahui pula bahwa selain memiliki kelebihan, bambu juga memiliki beberapa kekurangan ketika dipakai sebagai tulangan pada beton bertulang. Kekurangannya yaitu :

- Daya lekat yang kurang baik sehingga menyebabkan slip
- Mudah menyerap air, sehingga dapat mengalami susut saat mengering dan menyisakan rongga pada beton yang mengurangi kekuatan beton
- Mudah terbakar

Pada tahun 1999, Morisco mengemukakan bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan didasarkan pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan yang cepat serta keunggulan spesifik yang tak kalah penting mengenai kuat tarik yang cukup tinggi. Dalam penelitiannya didapat nilai kuat tarik bambu. Pengujian kuat tarik tersebut dilakukan pada bambu Ori, Petung, Wulung dan bambu Tutul.



Gambar 2.2 Hubungan Tegangan-Regangan Bambu dan Baja

Sumber : Morisco (1999)

2.3 *Self Compacting Concrete (SCC)*

Beton yang memadat dengan sendirinya (SCC) adalah beton yang memiliki keenceran yang tinggi. Beton ini biasanya menjadi alternatif pekerjaan konstruksi yang tidak dapat menggunakan vibrator. Beberapa kondisi pekerjaan yang tidak dapat menggunakan vibrator diantaranya pekerjaan yang lingkungannya dilarang / tidak boleh menimbulkan polusi suara (berisik) atau juga pekerjaan konstruksi sangat sulit dijangkau alat vibrator. Dikarenakan kelecakannya yang tinggi sehingga pengetesannya juga berbeda, dan biasa dikenal dengan *slump flow test*.

2.3.1 *Superplasticizer*

Superplasticizer adalah polimer linear yang mengandung asam sulfonat dan merupakan admixture yang digunakan untuk membuat beton yang dapat memadat sendiri tanpa bantuan alat vibrator (SCC). Admixture (bahan tambah) didefinisikan sebagai material selain air, agregat, semen dan fiber yang digunakan dalam campuran beton atau mortar, yang ditambahkan dalam adukan segera sebelum atau selama pengadukan dilakukan (ACI 116R-2000). Fungsi dari superplasticizer ini adalah menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar, melepaskan air yang terikat pada kelompok partikel semen, untuk menghasilkan viskositas atau kekentalan adukan pasta semen atau beton yang lebih rendah. Dengan sifat inilah beton dapat memadat sendiri serta mengisi celah-celah pada bekisting. Terdapat setidaknya empat jenis superplasticizer di pasaran, dan masing-masing memiliki reaksi yang berbeda. Dosis superplasticizer, jenis semen, komposisi mix desain beton menentukan kemampuan superplasticizer untuk melakukan reaksi (Papayianni et. Al, 2005).



Gambar 2.3 Superplasticizer

2.3.2 Kriteria *Mix-Design* SCC

Dalam membuat sebuah beton diperlukan sebuah rancangan campuran untuk menentukan kadar campuran yang pas untuk mencapai mutu yang ditentukan. Pada beton konvensional terdapat sekitar 70% agregat kasar dari total volume beton. Sedangkan dalam SCC agregat kasar dibatasi jumlahnya kurang lebih 50%. Pembatasan ini bertujuan untuk beton dapat mengalir dan memadat sendiri tanpa bantuan alat (Okamura dan Ouchi 2003).

Berikut kriteria umum yang harus dipenuhi dalam mix desain SCC :

- a. campuran SCC harus cukup plastis sehingga dapat memadat sendiri
- b. campuran harus tetap homogen selama proses pengangkutan dan penuangan
- c. campuran memiliki kemampuan mengalir dan memenuhi semua ruang pada bekisting.

2.4 Agregat Kasar Daur Ulang

Recycled Coarse Aggregate (RCA) adalah agregat kasar yang didapat dari pecahan beton yang sudah tidak terpakai. Dalam pengolahannya, beton bekas tersebut akan di pecah hingga memiliki ukuran seperti agregat kasar alami yaitu 9,5 mm hingga 37,5 mm. Dalam ASTM C-33 disebutkan bahwa beton limbah/bekas merupakan sumber daya yang layak untuk dijadikan agregat dan merupakan sumber daya yang ekonomis. Namun, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yakni keperluan air pada adukan yang lebih tinggi

karena sifat penyerapan air pada agregat daur ulang yang lebih besar, waktu pemadatan yang lebih lama karena permukaan yang lebih kasar dan plastisitas yang lebih rendah dari agregat kasar alami. Selain itu, pada agregat kasar daur ulang terdapat retak mikro yang ditimbulkan pada saat pemecahan.

Menurut penelitian El-Reedy pada tahun 2009, terdapat sifat beton dengan RCA yang berkurang jika dibandingkan dengan beton yang menggunakan NCA, yakni :

- kuat tekan menurun sebesar 10% - 30%
- kuat tarik lebih rendah walau tidak lebih dari 10%
- modulus elastisitas menurun sebesar 10% - 40%
- susut lebih besar 20% - 55% sedangkan *creep* lebih kecil hingga 10%

2.5 Karakteristik beton

2.5.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan mengidentifikasi mutu dari beton. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diperlukan, maka semakin tinggi pula mutu betonnya (Mulyono, 2005).

Tata cara pengujian yang dipakai secara umum di Indonesia adalah Standar Nasional Indonesia (SNI, 2011, p.8). Tegangan tekan beton didapat dari hasil perbandingan antara gaya yang mampu ditahan oleh benda uji dengan luas alas penampang benda uji tersebut.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2 - 1)$$

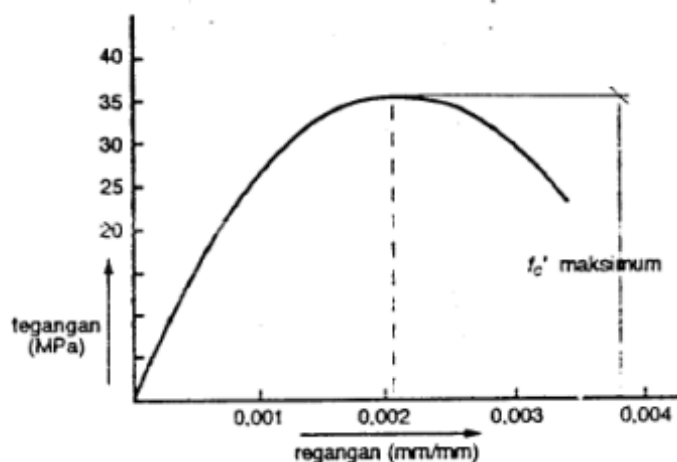
dengan :

$f'c$ = Tegangan tekan beton (N/mm²)

P = Besar gaya yang mampu ditahan (N)

A = Luas penampang (mm²)

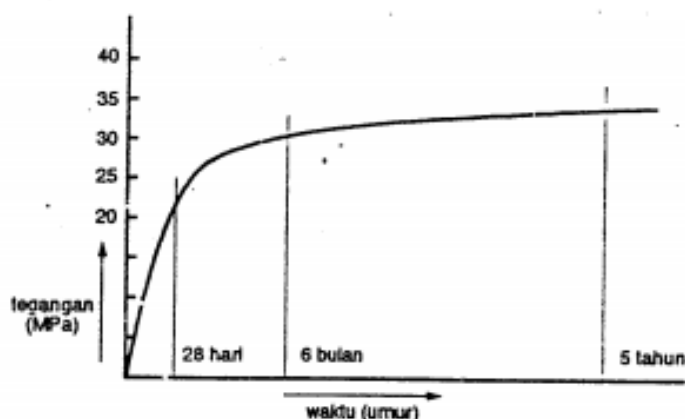
Kuat tekan beton didapatkan dari tegangan tekan tertinggi ($f'c$) ketika menggunakan mesin uji dengan peningkatan beban tekan bertingkat dan dengan kecepatan pembebanan tertentu. Tegangan tekan ($f'c$) beton yang dihasilkan adalah bukan pada saat beton hancur, namun ketika tegangan maksimum beton mencapai regangan (ϵ_b) dengan nilai $\pm 0,002$.



Gambar 2.4 Tegangan tekan benda uji beton

Sumber: (Istimawan, 1996, p.7)

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya, biasanya pada beton normal kuat tekan beton ditentukan pada umur 28 hari setelah pengecoran. Pada umur 7 hari kuat tekan beton mencapai 70% dari umur 28 hari, dan pada umur 14 hari kuat beton mencapai 85% - 90% dari kuat beton umur 28 hari.



Gambar 2.5 Diagram hubungan kuat beton dengan umur beton

Sumber: (Istimawan, 1996, p.9)

2.5.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau *modulus Young* adalah ukuran kekerasan (stiffness) dari suatu bahan tertentu. Modulus ini dalam aplikasi rekayasa didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja pada sebuah benda dengan regangan yang dihasilkan. Secara lebih rinci, modulus ini adalah suatu angka limit untuk regangan-regangan kecil yang terjadi pada bahan yang proporsional dengan penambahan tegangan. Dan, secara eksperimental, modulus ini dapat ditentukan dari perhitungan atau pengukuran slope

(kemiringan) kurva tegangan-regangan (stress-strain) yang dihasilkan dalam uji tekan suatu sampel atau spesimen. (Yoppy Soleman, 2005)

Masalah yang timbul adalah kenyataan bahwa angka modulus elastisitas beton itu sendiri dalam praktek telah dibawa kepada suatu formulasi empiris yang mengandung faktor kuat tekan f'_c (compressive strength) beton, seperti beberapa standar di bawah ini :

a. Menurut Eurocode 2 (1992)

$$E_c = \frac{0,4 f'_c}{\varepsilon (0,4 f'_c)} \dots\dots\dots (2 - 2)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

ε = Regangan aksial (mm/mm)

f'_c = kuat tekan beton umur 28 hari (MPa)

b. Menurut ASTM C469

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots (2 - 3)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

σ_1 = Tegangan untuk regangan 0,00005

σ_2 = Tegangan 40% dari tegangan hancur ultimate

ε_1 = 0,00005

ε_2 = Regangan yang menghasilkan σ_2

c. Menurut SK SNI T-15-1991 :

Ada dua rumus yang tertulis pada SK SNI T-15-1991, dan pembagiannya berdasarkan berat isi dari beton. Yang pertama apabila $1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$ maka :

$$E_c = 0,043 \times W_c^{1,5} \times f'_c^{0,5} \dots\dots\dots (2 - 4)$$

Sedangkan apabila $W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$ maka :

$$E_c = 4700 \times f'_c^{0,5} \dots\dots\dots (2 - 5)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

W_c = Berat isi beton (kg/m^3)

f'_c = kuat tekan beton 28 hari (MPa)

2.5.3 Kuat Lentur

Kuat lentur merupakan kemampuan bahan untuk menahan beban lentur. Ketika suatu bahan dilakukan pemeriksaan lentur, maka akan diketahui apakah penampang memiliki kekuatan yang cukup atau tidak dalam memikul beban atau momen yang bekerja. Dalam menganalisis suatu balok, perbedaan antara lentur murni dan lentur tak seragam sering kali dibutuhkan. Lentur murni merupakan lentur pada balok yang diakibatkan momen lentur yang konstan (gaya geser = 0). Hal tersebut menjelaskan bahwa momen lentur berubah pada saat kita menyusuri sepanjang sumbu balok.

Ketika sebuah beban terus bertambah, maka akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan lentur.

Keruntuhan lentur terjadi terutama pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Retak akan terjadi akibat tegangan geser yang sangat kecil dan tegangan lentur yang dominan yang besarnya hampir sama dengan tegangan utama horisontal (Nawy, 1998:153). Keruntuhan lentur diawali dengan retak halus berarah vertikal yang terjadi dari tengah bentang. Apabila beban terus bertambah, maka retak awal akan semakin memanjang keatas dan retak awalnya akan semakin lebar. Dan hal tersebut mengakibatkan lendutan yang semakin besar di tengah bentang.

Untuk kuat lentur balok dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (2 - 6)$$

Dimana :

σ = kuat lentur (MPa)

P = beban maksimum (N)

b = lebar balok penampang runtuh (mm)

d = tinggi balok penampang runtuh (mm)

2.6 Lendutan dan kekakuan

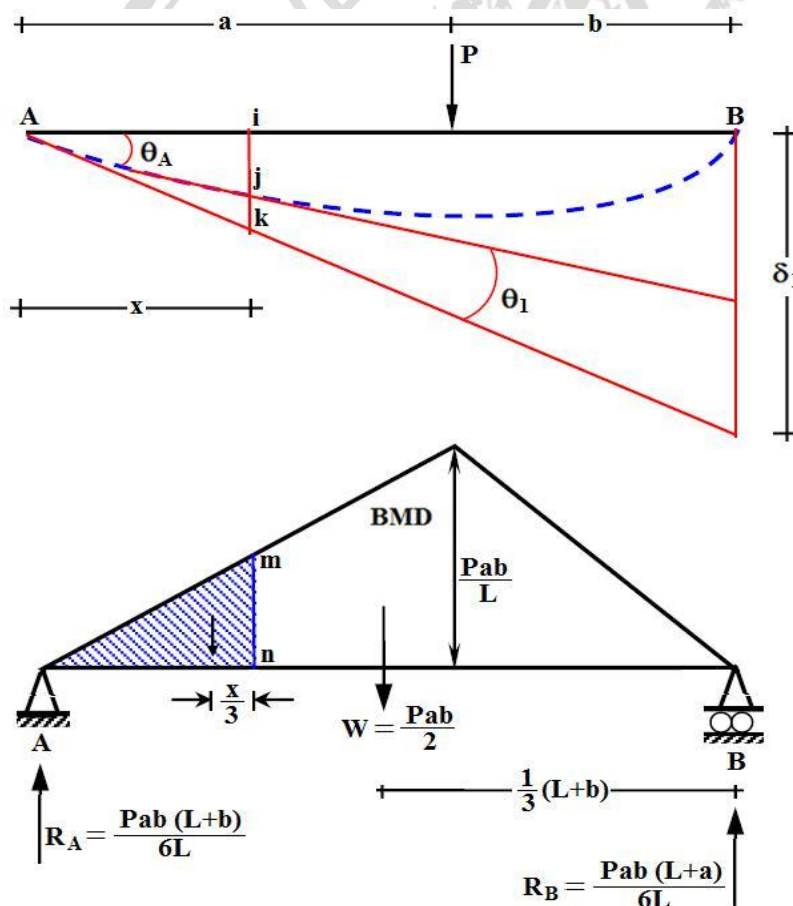
Semua balok akan melendut (defleksi) dari posisi awalnya apabila terbebani (paling tidak disebabkan oleh berat sendirinya). Dalam struktur bangunan seperti balok dan plat

lantai tidak boleh melendut terlalu berlebihan (*over deflection*) untuk mengurangi kemampuan layan (*serviceability*) dan keamanannya (*safety*) yang akan mempengaruhi psikologis (ketakutan) pemakai/pengguna.

Ada beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan defleksi pada balok. Di sini hanya akan dibahas 4 (empat) metode, yaitu :

1. Metode integrasi ganda (*double integrations method*)
2. Metode luas bidang momen (*moment area method*)
3. Metode balok padanan (*conjugate beam method*)
4. Metode beban satuan (*unit load method*)

Asumsi yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut adalah lendutan yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja tegak-lurus terhadap sumbu balok, lendutan yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan panjang baloknya, dan irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap berupa bidang datar walaupun terdeformasi (Prinsip Bernoulli).



Gambar 2.6 Balok sederhana dan garis elastika beban titik

Metode balok padanan (*conjugate beam method*) yang menganggap bidang momen sebagai beban dirasa lebih praktis untuk digunakan. Metode ini pada prinsipnya sama dengan metode luas bidang (*moment area method*), hanya sedikit terdapat modifikasi. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada *Gambar 2.6*, sebuah konstruksi balok sederhana dengan beban titik **P**, kemudian bidang momen yang terjadi dianggap sebagai beban.

Lendutan merupakan hal yang sangat perlu dicermati didalam struktur balok beton bertulang. Masalah lendutan terjadi akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut. Struktur tersebut harus direncanakan untuk mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja. Berdasarkan rumus lendutan, nilai kekakuan bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$K = \frac{P}{\delta} \quad (2 - 8)$$

Dimana :

- K = kekakuan
P = beban yang bekerja
 δ = lendutan

Menurut Paulay (1992), pada awalnya kekakuan lentur tergantung pada ukuran geometri elemen dan modulus elastisitas dari material yang dipakai. Hubungan tersebut tidak berlaku sederhana pada struktur balok beton bertulang dimana hal tersebut harus mempertimbangkan pengaruh retak dan kontribusi beton terhadap tegangan tarik.

2.7 Penelitian Terdahulu

1. *Self Compacting Concrete*, disusun oleh Okamura dan Ouchi pada tahun 2003 dengan hasil penelitian sebagai berikut :
 - a. Metode yang digunakan untuk mendapatkan sifat *Self Compacting Concrete* antara lain :
 - Pembatasan jumlah agregat
 - Rasio air semen yang rendah
 - Penggunaan *Superplasticizer*
 - b. Untuk dapat mengurangi interaksi antara agregat kasar, maka diperlukannya pembatasan jumlah agregat kasar sekitar 50% dari total volume beton. Sedangkan untuk agregat halus akan diberi pembatasan jumlah sebanyak 60% dari total volume beton.

2. Pengaruh penggunaan agregat daur ulang terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton berkinerja tinggi grade 80 (Deni A.H, Solihin A., dan Endah S. Pada tahun 2014). Penelitian tersebut menggunakan agregat halus daur ulang dengan variasi komposisi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari berat total agregat halus alami. Benda uji silinder beton $d = 7,62$ cm dan $t = 15,24$ cm. Mutu rencana sebelumnya yakni $f_c' = 80$ MPa. Diperoleh kuat tekan beton normal 85,51 MPa dengan modulus elastisitas sebesar $E_c = 49,045$ GPa. Substitusi agregat halus daur ulang 20% menghasilkan kuat tekan sebesar 67,58 MPa (menurun 20,97%) dengan modulus elastisitas $E_c = 41,827$ GPa, pada komposisi 40% didapat $f_c' = 62,06$ MPa ($E_c = 38,127$ GPa), pada 60% didapat $f_c' = 60,68$ MPa ($E_c = 34,689$ GPa), pada 80% didapat $f_c' = 57,92$ MPa ($E_c = 30,008$ GPa), dan pada 100% agregat halus daur ulang didapat $f_c' = 53,79$ MPa ($E_c = 27,739$ GPa). Sehingga pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan agregat halus daur ulang dapat mengurangi kekuatan beton.
3. Aplikasi rajutan bambu sebagai tulangan balok beton (Agostinho Fransisco Pinto, 2016). Pada pengujian yang dilakukan dalam penelitian yang menguji kapasitas lentur balok bertulangan bambu dengan beberapa varian klasifikasi rasio tulangan. Dengan ukuran benda uji 15 cm x 25 cm x 170 cm yang diletakkan pada tumpuan sederhana dan dua beban statik yang membebaninya, didapat hasil :
- Penambahan rasio tulangan bambu berpengaruh signifikan terhadap beban maksimum (P_{maks}) dan lendutan balok beton bertulangan bambu.
 - Balok beton bertulangan bambu memiliki kapasitas maksimum yang mencapai 56,61% dari kapasitas maksimum beton bertulangan baja.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Waktu penelitian yaitu Maret 2018 sampai selesai.

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian eksperimental berikut dilakukan di laboratorium. Untuk benda uji tekan direncanakan dengan menggunakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji tekan direncanakan dengan mutu 20 Mpa. Benda uji balok berukuran 15 cm x 25 cm x 160 cm. Setiap benda uji akan menggunakan campuran agregat kasar daur ulang dengan variasi komposisi 0% dan 100% dan dengan metode SCC yang menambahkan Superplasticizer sebanyak 1% dari jumlah semen. Khusus benda uji balok, akan digunakan tulangan bambu. Setelah penentuan mix desain akan dilakukan pencampuran agregat dengan metode SCC dan akan diuji slump menggunakan *Slump Cone* lalu dicetak pada bekisting. Setelah itu benda uji akan melalui proses perawatan (curing 14 hari) dan pengujian yaitu uji tekan untuk benda uji silinder dengan tambahan extensometer dan uji lentur untuk benda uji balok ketika berumur 28 hari. Dengan hasil yang sudah didapat dari masing-masing pengujian, akan dilakukan analisa kekuatan dan pola retak dari keruntuhan benda uji.

Berikut adalah rancangan benda uji yang akan dibuat dan diteliti :

Tabel 3.1

Variasi Benda Uji

No	Agregat		Tulangan	Beton (20 Mpa)	Jumlah
	Kasar	Halus			
1	Normal	Normal	Bambu Pilin	SCC	3
2	RCA 100%	Normal	Bambu Pilin	SCC	3
Total					6

Pelaksanaan penelitian ini akan meliputi 2 analisis, yakni :

1. Analisis teoritis

Dapat memprediksi beban maksimum dan lendutan yang terjadi dengan menggunakan teori pada tinjauan pustaka sehingga dapat menghasilkan nilai-nilai teoritis.

2. Analisis data eksperimental

Analisis dari hasil data yang didapat dari pengujian benda uji agar mendapatkan hasil yang akan digunakan untuk menyusun kesimpulan tentang pengaruh penambahan agregat kasar daur ulang terhadap kuat lentur balok *Self Compacting Concrete* bertulang bambu.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Timbangan
- Satu set ayakan
- Oven
- Mesin pengaduk beton / mixer
- *Slump Cone*
- *Loading Frame* untuk pengujian kuat lentur balok
- *Hydraulic Jack* untuk memberikan beban bertahap
- *LVDT* sebagai pengukur perpindahan/lendutan
- Cetakan silinder
- Penggaris
- Spidol
- Papan kayu untuk bekisting balok
- Alat penunjang lainnya

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

- Semen PPC produksi PT. Semen Gresik
- Agregat halus
- Agregat kasar alami (pecahan batu alam)
- Agregat kasar daur ulang (beton silinder dengan K-300 s/d K-350)

- Bambu pilin
- NaOH 1%
- Sikadur
- Klem
- Air dari PDAM kota Malang
- *Superplasticizer*

3.4 Analisa Bahan

Berikut ini adalah bahan-bahan yang memerlukan pengujian atau pengolahan khusus, diantaranya :

- Agregat kasar daur ulang (RCA)

Agregat daur ulang dalam penelitian ini adalah hasil dari pecahan benda uji beton dengan mutu K-300 s/d K-350. Benda uji tersebut kemudian dihancurkan dan kemudian yang digunakan adalah butir agregat dengan ukuran 0,5 cm – 2 cm.

- *Superplasticizer*

Superplasticizer yang digunakan didapat dari PT. Sika Nusa Pratama. Komposisi *superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1%.

- Tulangan bambu

Bambu yang diambil adalah bambu petung yang berasal dari kota Malang. Ukuran bambu adalah berdiameter ± 4 mm dengan panjang 150 cm. Bambu yang telah dipilih direndam dengan NaOH 1% (± 15 menit) terlebih dahulu, diberi pelapis berupa cat kayu dan sikadur serta dilumuri dengan pasir. Tulangan bambu kemudian akan dilakukan uji tarik. Tulangan bambu akan dipilin untuk dijadikan sebagai tulangan pada benda uji balok.

- Semen

Analisa semen tidak dilaksanakan pengujian secara detail. Pengamatan hanya ada secara visual terhadap kondisi semen yang baik.

- Air

Air yang digunakan merupakan air PDAM yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

3.5 Alir Diagram Penelitian



3.6 Prosedur Penelitian

- Benda uji silinder
 1. Analisis agregat halus, agregat kasar alami dan agregat kasar daur ulang meliputi kadar air, analisis berat jenis dalam keadaan SSD, analisis berat isi dan penyerapan agregat
 2. Campurkan semua bahan kedalam mixer mulai dari agregat kasar atau agregat daur ulang, agregat halus, semen, air, dan superplasticizer sesuai dengan mix desain yang sudah direncanakan
 3. Lakukan uji kelecakan pada setiap campuran dengan *slump flow* test
 4. Cetak campuran beton kedalam cetakan besi benda uji silinder
 5. Pelepasan beton dari cetakan dan perawatan beton dengan direndam pada kolam air bersih
 6. Uji kuat tekan beton pada umur 28 hari
- Bambu
 1. Pemotongan bambu Petung dengan diameter 4 mm.
 2. Bambu direndam menggunakan NaOH 15 menit lalu dikeringkan untuk menghilangkan airnya dan memberikan efek lentur agar mudah dipilin
 3. Bambu dipilin dengan pola keping rambut
 4. Dilakukan pelapisan menggunakan sikadur dan cat lalu dilumuri dengan pasir
 5. Bambu yang sudah dilapisi kemudian dikeringkan dan siap dijadikan tulangan balok
- Benda uji balok
 1. Pembuatan bekisting sesuai ukuran balok
 2. Menyiapkan tulangan bambu yang dipilin dan dilapisi (NaOH , sikadur dan pasir)
 3. Mencampurkan semua bahan kedalam mixer seperti saat membuat benda uji silinder
 4. Pengecoran pada bekisting dengan tulangan bambu yang sudah siap menjadi tulangan
 5. Pelepasan bekisting serta pengecekan balok secara utuh (jika ditemukan cacat pada balok maka segera ditambal dengan pasta)
 6. Perawatan beton dengan ditutupi dengan karung goni basah (dibasahi setiap hari selama 14 hari)

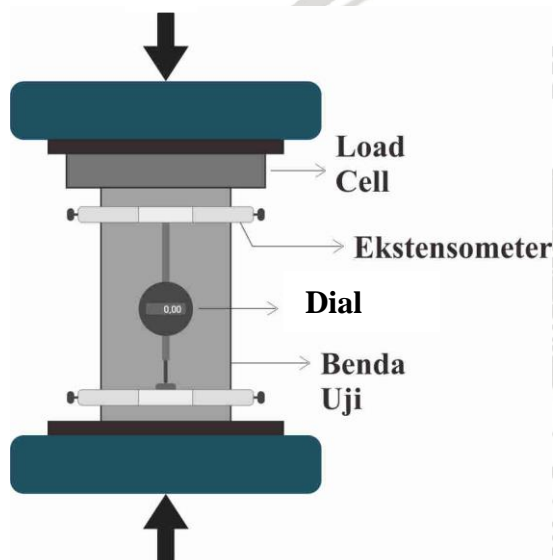
7. Uji kuat lentur balok beton pada umur 28 hari

3.7 Prosedur Pengujian

3.7.1 Uji Kuat Tekan

Berikut tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton :

1. Letakkan benda uji yang sudah berumur 28 hari pada mesin secara sentris
2. Mesin akan dijalankan dengan penambahan beban yang konstan
3. Pembebanan akan berlangsung hingga benda uji mengalami keretakan dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji



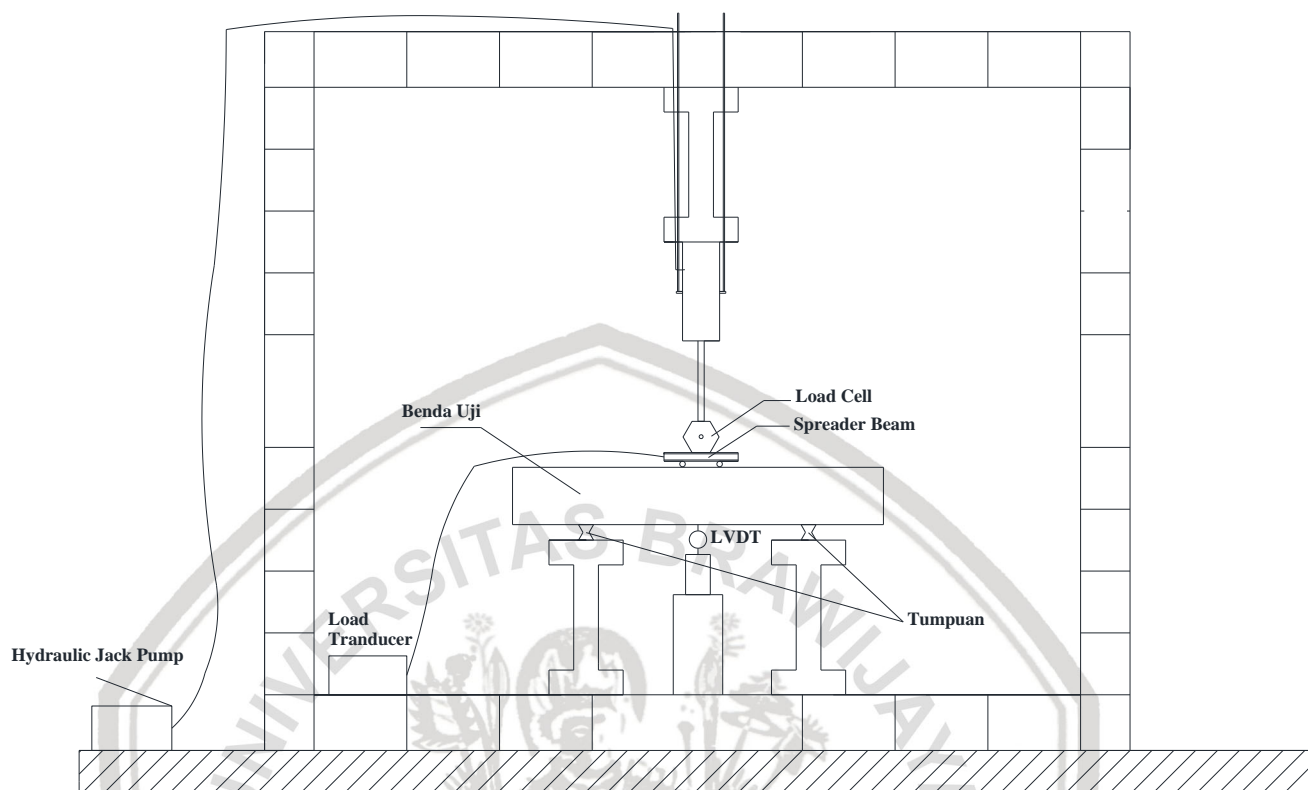
Gambar 3.1 Skema Pengujian Kuat Tekan Silinder

3.7.2 Uji Kuat Lentur

Berikut tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton :

1. Letakkan benda uji yang sudah berumur 28 hari pada mesin di setengah bentang
2. Mesin akan dijalankan dengan penambahan beban yang konstan

3. Pembebanan akan berlangsung hingga benda uji mengalami keretakan/patah dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji



Gambar 3.2 Skema pengujian benda uji balok

3.8 Metode Analisis Data

Berdasarkan hasil uji balok tersebut akan didapatkan nilai beban maksimum dan nilai lendutan yang akan dimasukkan ke dalam tabel berikut :

Tabel 3.2 Form data benda uji silinder

Pengujian Kuat Tekan Silinder

benda uji : .

berat : tanggal cor :
(tipe beton) tanggal uji :

σ_{max} = MPa

beban	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan
0			
10			
...			
...			

Tabel 3.3 *Form data benda uji balok*

Pengujian Balok			
benda uji :			
(tipe beton)			
σ_{max}	=		
		MPa	
		tanggal cor :	
		tanggal uji :	

P (KG)	Dial	selisih	ΔL (mm)
0			
50			
...			
...			

3.9 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang ada dan percobaan yang akan dilakukan terhadap benda uji, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut :

1. Benda uji *Self Compacting Concrete* (SCC) akan terpengaruhi oleh adanya campuran *Recycle Coarse Aggregate* (RCA),
2. Benda uji *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan komposisi RCA 0% akan memiliki kekuatan yang paling besar dibanding komposisi RCA 100%,
3. Akan terjadi retak lentur sedangkan retak geser tidak akan terjadi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisa Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian bahan-bahan penyusun beton yang dilakukan di awal penelitian bertujuan untuk mendapatkan data berupa kualitas tiap bahan penyusun beton. Data tersebut akan digunakan untuk dapat mengetahui dan merencanakan mix-design yang menentukan kekuatan dari beton yang akan dibuat.

Pengujian bahan yang dimaksud terdiri dari :

1. Analisa agregat halus
2. Analisa agregat kasar normal
3. Analisa agregat kasar daur ulang

Analisa yang dilakukan berupa analisa gradasi agregat halus, analisa kadar air, analisa berat isi, berat jenis dan penyerapan. Hasil analisa agregat kasar normal dan agregat kasar daur ulang akan dapat dibandingkan satu sama lain. Air yang dipakai pada bahan penyusun beton ini tidak dilaksanakan penelitian karena menggunakan air dari PDAM kota Malang, semen PPC yang digunakan pada bahan penyusun beton ini juga tidak dilaksanakan penelitian karena sudah terdapat standart mutu dari PT. SEMEN GRESIK, sedangkan superplastisizer berupa *Viscocrete* yang digunakan pada beton ini juga sudah sesuai standart PT. Sika Nusa Pratama.

4.1.1 Analisa Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan merupakan pasir hitam yang diambil dari alam. Berikut ini merupakan hasil dari analisa gradasi agregat halus.

Tabel 4.1

Hasil analisa gradasi agregat halus

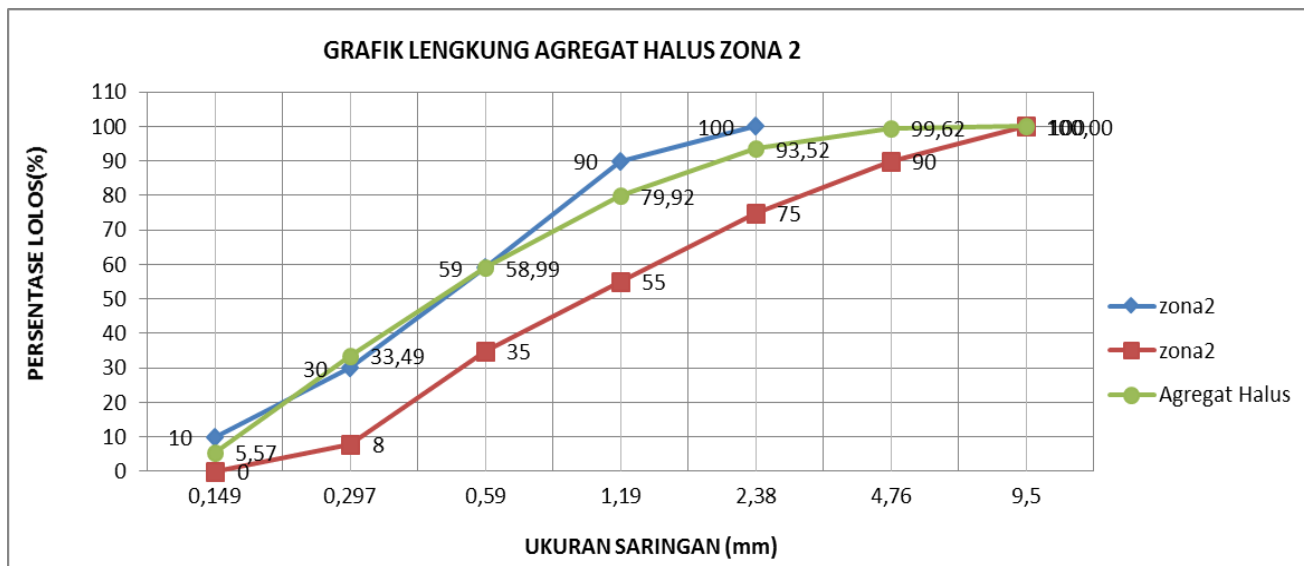
Lubang Saringan		Pasir			
no	mm	Tertinggal	%	%Kumulatif	
		gram		Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100
4	4,76	3,6	0,375	0,375	99,625
8	2,38	58,60	6,109	6,485	93,515
16	1,19	130,4	13,595	20,079	79,921
20	0,59	200,8	20,934	41,013	58,987
50	0,297	244,6	25,500	66,514	33,486
100	0,149	267,8	27,919	94,433	5,567
200	0,075	48,4	5,046	99,479	0,521
Pan		5	0,521	-	-
Σ =		959,2	100	328,378	

Dalam pengayakan agregat halus digunakan saringan dimulai dari no 4 atau ayakan 4,76 mm. Dari total 1000 gram pasir yang diayak didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.1. Pengujian agregat halus dilakukan berdasarkan ASTM C33.

Dari Tabel 4.1 kita bisa mendapatkan nilai modulus halus pasir dan mendapatkan grafik seperti Gambar 4.1.

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/8" \text{ sampai no } 100}{100}$$

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{328,378}{100} = 3,2838$$



Gambar 4.1 Gradasi Pasir

Berdasarkan grafik agregat halus pada Gambar 4.1, maka gradasi agregat halus yang digunakan termasuk ke dalam zona 2. Hal itu menunjukkan pasir yang digunakan merupakan pasir yang berbutir lebih kasar. Hasil dari gradasi agregat halus dapat mempengaruhi kebutuhan kadar semen dan kebutuhan air yang digunakan untuk mengikat campuran beton. Semakin kasar sebuah agregat, maka semakin sedikit kebutuhan semen dan air yang akan digunakan/dicampurkan. Pasir yang berbutir kasaar akan berpengaruh juga saat pekerjaan adukan yang bisa menyebabkan berkurangnya ikatan antara campuran dan hasil pada beton yang kurang tercampur secara merata. Beton yang tidak tercampur secara merata dapat menyebabkan beton yang keropos. Sehingga dalam proses pencampuran harus diperhatikan agar beton tercampur merata untuk menghindari keropos pada beton dan kekuatan beton yang dihasilkan dapat sesuai dengan rencana awal.

Tabel 4.2

Hasil Analisa Kadar Air Agregat Halus

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	16,2	21,8
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	15,6	21,6
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,6	0,2
4	Berat Talam	(gr)	6	6,2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	9,6	15,4
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,0625	0,0130
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,03774	

Kadar air agregat halus perlu diketahui untuk menentukan jumlah air yang diperlukan dalam suatu campuran beton. Semakin basah agregat yang kita miliki akan membuat campuran juga lebih basah, begitu juga sebaliknya. Diketahui pada Tabel 4.2

bahwa rata-rata dari kadar air agregat halus pada penelitian ini mendapat persentase nilai 0,03774.

Tabel 4.3

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

1	Berat takaran	(gr)	1650	1650
2	Berat takaran + air	(gr)	4850	4850
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3200	3200
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3200,0	3200
CARA			RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1650	1650
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6300	5600
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	4650	3950
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,4531	1,2344
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	1,344	

Tabel 4.4

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	478,8
Berat benda uji dalam air	B	(gr)	677,2
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	976,2

NOMOR CONTOH			B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(B+500-Bt)		2,382
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	500/(B+500-Bt)		2,488
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	Bk/(B+Bk-Bt)		2,663
Penyerapan (%) (Absorption)	(500-Bk)/Bkx100%		4,428

4.1.2 Analisa Agregat Kasar Normal

Agregat kasar normal pada penelitian ini menggunakan agregat kasar yang didapatkan dari pecahan batu kali alami yang berukuran 5-25 mm. Ukuran ini diambil agar memenuhi standart EFNARC , yang menentukan bahwa untuk *Self Compacted Concrete* digunakan agregat yang berukuran maksimal 25 mm. Berikut hasil analisa dari agregat kasar normal / alami.

Tabel 4.5

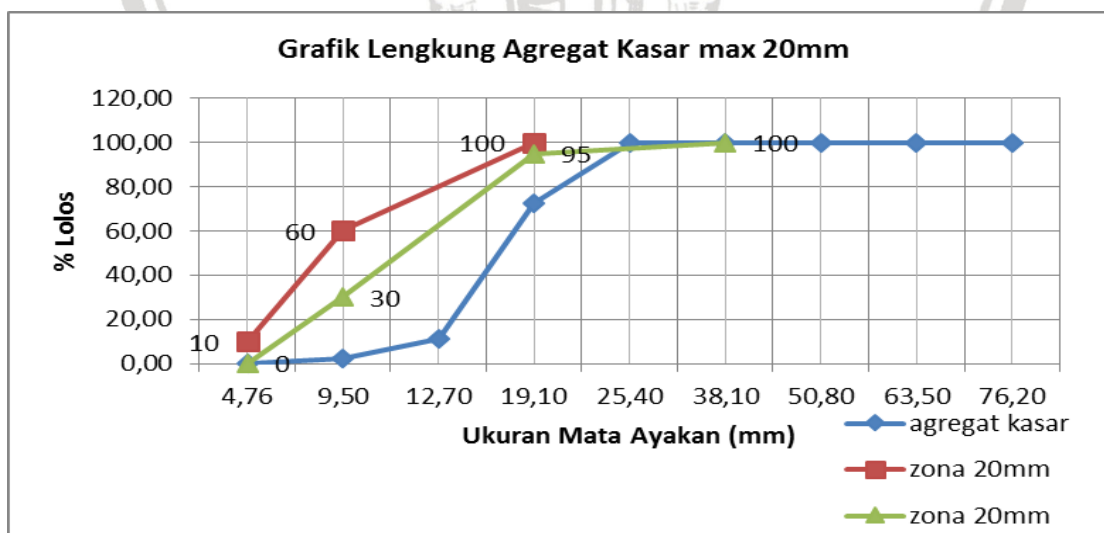
Hasil Analisa Gradasi Agregat Kasar

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	100
2.5"	63,5	-	-	-	100
2"	50,8	-	-	-	100
1.5"	38,1	-	-	-	100
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00
0.75"	19,1	2750	27,64	27,64	72,36
0.5"	12,7	6100	61,32	88,96	11,04
0.375"	9,5	865,8	8,70	97,66	2,34
4	4,76	229,2	2,30	99,97	0,03
8	2,38	3,2	0,03	100,00	-
16	1,19	-	-	100,00	-
20	0,85	-	-	100,00	-
50	0,297	-	-	100,00	-
100	0,149	-	-	100,00	-
200	0,075	-	-	100,00	-
Pan		-	-	100,00	-
Σ =		9948,2	100,0	1014,24	

Dalam pengayakan agregat kasar digunakan saringan dimulai dari 1" atau ayakan 25,4 mm. Dari total 10000 gram atau 10 kilogram agregat kasar normal yang diayak didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.5. Dari tabel diatas bisa kita dapatkan modulus halus dari agregat kasar normal / alam.

$$\text{Modulus halus agregat kasar} = \frac{\sum \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100}$$

$$\text{Modulus halus agregat kasar} = 10,14$$



Gambar 4.2 Gradasi Agregat Kasar Normal

Tabel 4.6

Hasil Analisa Kadar Air Agregat Kasar Normal

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	1577,4	2336,2
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	1530	2320,8
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	47,4	15,4
4	Berat Talam	(gr)	377,2	1136,2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	1152,8	1184,6
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,0411	0,0130
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,027059	

Tabel 4.7

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar Normal

1	Berat takaran	(gr)	1650	1650
2	Berat takaran + air	(gr)	4850	4850
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3200	3200
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3200	3200
CARA			RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1650	1650
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6500	5975
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	4850	4325
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,5156	1,3516
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1,43	

Tabel 4.8

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Normal

Nomor Contoh			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5080
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4945
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3001

Nomor Contoh		B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)	2,379
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2,443
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2,544
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%	2,730

4.1.3 Analisa Agregat Kasar Daur Ulang

Agregat kasar daur ulang pada penelitian ini menggunakan agregat kasar yang didapatkan dari hasil pecahan beton limbah dengan K-300 sampai dengan K- 350. Beton limbah yang akan dipakai lalu dipecah/digiling hingga berukuran 5-20 mm.

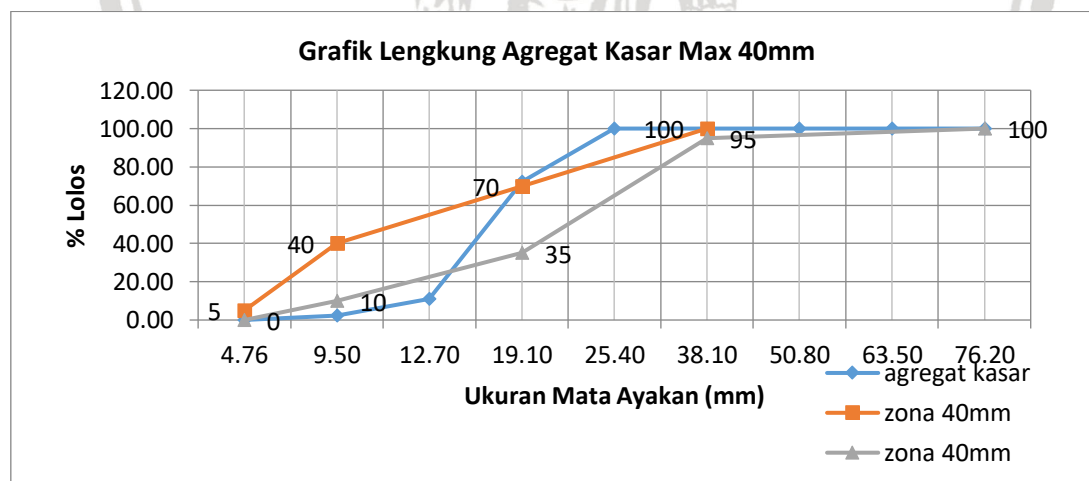
Tabel 4.9

Hasil Analisa Gradasi Agregat Kasar Daur Ulang

Lubang Saringan		Agregat Kasar Daur Ulang			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	100
2.5"	63.5	-	-	-	100
2"	50.8	-	-	-	100
1.5"	38.1	-	-	-	100
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00
0.75"	19.1	1400	14.08	14.08	85.92
0.5"	12.7	5300	53.31	67.40	32.60
0.375"	9.5	2422	24.36	91.76	8.24
4	4.76	819	8.24	100.00	0.00
8	2.38	0	0.00	100.00	-
16	1.19	-	-	100.00	-
20	0.85	-	-	100.00	-
50	0.297	-	-	100.00	-
100	0.149	-	-	100.00	-
200	0.075	-	-	100.00	-
Pan		-	-	100.00	-
Σ =		9941	100.0	973.24	

$$\text{Modulus halus agregat kasar} = \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100}$$

$$\text{Modulus halus agregat kasar} = 9,73$$



Gambar 4.3 Gradasi Agregat Kasar Daur Ulang

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 didapatkan gradasi agregat kasar daur ulang yang agregat kasar daur ulang yang digunakan memiliki ukuran maksimum 25,4 mm. Agregat kasar daur ulang akan berpengaruh pada kadar air bebas yang akan digunakan untuk menentukan perkiraan kadar air bebas yang akan digunakan untuk kemudahan

pengerjaan adukan beton. Dari total 10000 gram atau 10 kilogram agregat kasar normal yang diayak didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.9. Dari tabel diatas juga didapatkan modulus halus dari agregat kasar daur ulang.

Tabel 4.10

Hasil Analisa Kadar Air Agregat Kasar Daur Ulang

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	1521,6	1065,4
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	1491,2	1035,2
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	30,4	30,2
4	Berat Talam	(gr)	944,2	381,2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	547	654
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,0556	0,0462
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,05088	

Tabel 4.11

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar Daur Ulang

1	Berat takaran	(gr)	1650	1650
2	Berat takaran + air	(gr)	4850	4850
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3200	3200
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3200	3200
	CARA		RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1650	1650
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6375	5675
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	4725	4025
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,4766	1,2578
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1,37	

Tabel 4.12

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Daur Ulang

Nomor Contoh			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	5000
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3000

Nomor Contoh		B
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)	2,500
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2,500
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2,500
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj-Bk)/Bkx100%	0,000

4.1.4 Mix Design Beton

Dalam *Self Compacted Concrete* (SCC) diperlukan percobaan pendahuluan untuk dapat memastikan mix design yang optimum. Berdasarkan hasil analisis agregat didapatkan komposisi agregat yang akan digunakan. Jenis agregat yang digunakan akan berpengaruh terhadap kebutuhan semen dan air di lapangan. Campuran beton menggunakan nilai FAS sebesar 0,5 dari berat semen. Faktor air semen didapatkan dari ketentuan yang berlaku pada SNI 03-3449-2002. Proporsi campuran diharapkan menghasilkan beton yang sesuai rencana. Perencanaan mix design dengan kekuatan 20 MPa yang digunakan dalam percobaan ini digunakan komposisi sebagai berikut :

Tabel 4.13

Mix design SCC

MIX DESIGN SCC	
Ingredients	weight (kg/m')
Air	205
Semen	410
Agregat Halus	817
Agregat Kasar (5-10 mm)	347
Agregat kasar (10-20 mm)	521
Superplastisizer (ltr/m')	4,1

4.2 Hasil pengujian Benda Uji

4.2.1 Pengujian Beton Segar (Uji *slump flow*)

Beton yang baru keluar dari mesin pengaduk adalah beton segar. Beton segar yang dibuat akan diuji terlebih dahulu kelayakannya. Pengujian yang dilakukan adalah uji *slump flow*. Beton segar dituang dari mesin pengaduk ke bak penampungan. Lalu dimasukkan kedalam corong kerucut yang sudah ditempatkan diatas papan pembaca nilai slump (papan harus bersih dan tidak menghambat aliran), beton segar dimasukkan hingga rata.



Gambar 4.4 Uji Slump Flow

Kemudian didapatkan nilai slump yang berguna untuk menunjukkan sifat kelecakan (*workability*) dalam campuran beton. Nilai *slump flow* diperoleh dari lebarnya penyebaran campuran beton segar yang telah dimasukkan kedalam kerucut Abrams yang diisi penuh tanpa perlu proses pemadatan. Setelah itu, alat uji *slump* diangkat searah vertikal untuk memperoleh nilai *slump flow*. Hasil pengujian *slump flow* didapatkan nilai *slump* sebesar 62 cm pada benda uji A, nilai pada pengujian ini menunjukkan bahwa nilai tersebut telah memenuhi untuk dilakukan tahap selanjutnya.

Tabel 4.14

Data Uji *Slump Flow*

SLUMP BENDA UJI		
kode benda uji	SLUMP	
	VERTIKAL	HORIZONTAL
N1	66	67
	RATA	66,5
N2	65	63
	RATA	64
N3	66	63
	RATA	64,5
R1	65	64
	RATA	64,5
R2	66	63
	RATA	64,5
R3	62	59
	RATA	60,5

Berdasarkan hasil uji *slump flow* pada tabel di atas, diperoleh nilai slump rata – rata sebesar 66,5 , 64 , 64,5 , dan 60,5 cm dengan nilai terkecil 60,5 cm dan nilai terbesar 66,5 cm. Nilai slump tertinggi pada *Self Compacted Concrete* dengan agregat normal dengan nilai 66,5 cm. Sedangkan nilai *slump flow* terkecil terdapat pada *Self Compacted Concrete* dengan agregat kasar daur ulang dengan nilai rata – rata 60,5 cm. Nilai slump yang tidak konsisten dikarenakan pada saat pelaksanaan pengujian, terjadi beberapa kesalahan, yaitu kurang cepatnya mengangkat cetakan kerucut dan kerucut diangkat dalam keadaan tidak tegak lurus. Selanjutnya beton segar mendapatkan perawatan dengan proses curing. Proses tersebut membutuhkan waktu 14 hari setelah pengecoran dan diuji pada hari ke-28.

Tabel 4.15

Jadwal Benda Uji

BENDA UJI	TANGGAL		
	COR	SELESAI CURING	UJI
N1	19 September 2018	03 Oktober 2018	17 Oktober 2018
N2	19 September 2018	03 Oktober 2018	17 Oktober 2018
N3	19 September 2018	03 Oktober 2018	17 Oktober 2018
R1	19 September 2018	03 Oktober 2018	17 Oktober 2018
R2	21 September 2018	05 Oktober 2018	19 Oktober 2018
R3	21 September 2018	05 Oktober 2018	19 Oktober 2018

4.2.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian tekan beton dilakukan pada umur 28 hari untuk mendapatkan nilai dari kuat tekan beton. Benda uji balok dibuat dengan ukuran 15 cm x 25 cm x 160 cm. Benda uji balok tersebut dibuat dengan total 6 buah dan dibagi sesuai masing-masing jenis beton. Jenis beton yang dimaksud terdiri dari 3 balok beton dengan 100% agregat kasar normal/alami dan 3 balok beton dengan 100% agregat kasar daur ulang atau *Recycled Coarse Aggregate (RCA)*. Untuk dapat mengontrol kekuatan dari masing-masing benda uji balok, maka dibuat juga benda uji silinder untuk dapat meneliti mutu dari balok tersebut. Benda uji silinder beton dibuat sebanyak 2 buah untuk masing – masing balok beton (6 balok), sehingga total silinder beton sebanyak 12 buah, dimana ukuran tinggi silinder 30 cm dan diameter 15 cm. Pada setiap benda uji dilakukan perawatan dengan cara menutupi

benda uji dengan karung basah untuk benda uji balok dan merendam benda uji silinder dalam kolam air untuk meminimalisir proses hidrasi pada beton sehingga tidak terjadi retakan atau susut pada beton. Proses ini dilakukan selama 14 hari setelah beton di cor. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah silinder beton berumur 28 hari.

Proses pencampuran dilakukan dengan bantuan mesin *mixer* berkapasitas 50 kilogram semen. Material yang pertama dimasukkan adalah agregat kasar berupa pasir atau agregat halus, lalu dilanjutkan dengan memasukkan semen. Setelah tercampur secara merata dimasukkan batu pecah dengan ukuran diameter 5 – 10 mm atau agregat kasar dengan ukuran diameter 10 – 20 mm. Air juga dimasukkan kedalam *mixer* secara perlahan agar air tercampur merata ke setiap material.



Gambar 4.5 Proses Pencampuran Material Beton Menggunakan *mixer*

Setelah 2 menit proses pencampuran beton konvensional, campuran beton ditambahkan *superplastisizer* 1% dari berat semen. Kemudian biarkan *mixer* meratakan semua campuran selama 3 menit dengan memperhatikan campuran didalamnya. Setelah tercampur, di tuangkan sebagian campuran beton ke dalam ember yang akan diuji nilai *Slump flow*-nya. Setelah nilai *slump flow* memenuhi kriteria maka semua campuran dapat dimasukkan kedalam bekisting balok dan 2 silinder dengan cara dituangkan secara merata ke seluruh bagian bekisting. Dalam proses ini, *Self Compacting Concrete* (SCC) tidak memerlukan proses pemadatan berupa tumbukan seperti layaknya beton konvensional.



Gambar 4.6 Proses Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Tabel 4.16

Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder dan Berat Isi Silinder

Benda Uji	Pmaks (KN)	Berat (kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata (MPa)
NCA 1.1	479	13,35	27,09	27,39
NCA 1.2	459	13,4	25,96	
NCA 2.1	404	13,3	22,85	
NCA 2.2	489	13,55	27,66	
NCA 3.1	490	13,55	27,72	
NCA 3.2	584	13,2	33,03	
RCA 1.1	467	12,5	26,42	21,96
RCA 1.2	379	12,95	21,44	
RCA 2.1	395	12,55	22,34	
RCA 2.2	344	12,75	19,46	
RCA 3.1	375	12,9	21,21	
RCA 3.2	369	12,85	20,87	

Berdasarkan perhitungan tabel diatas, berat isi beton normal lebih tinggi dibandingkan beton *Recycled Coarse Aggregate*. Hal ini dikarenakan agregat daur ulang mempunyai kandungan mortar didalamnya, mengakibatkan berkurangnya berat dari agegat kasar itu sendiri. Sehingga berat beton yang ditambahkan serat menjadi lebih kecil dibandingkan beton normal dan mengakibatkan berat isi beton juga berkurang, karena berat beton berbanding lurus dengan berat isi beton.

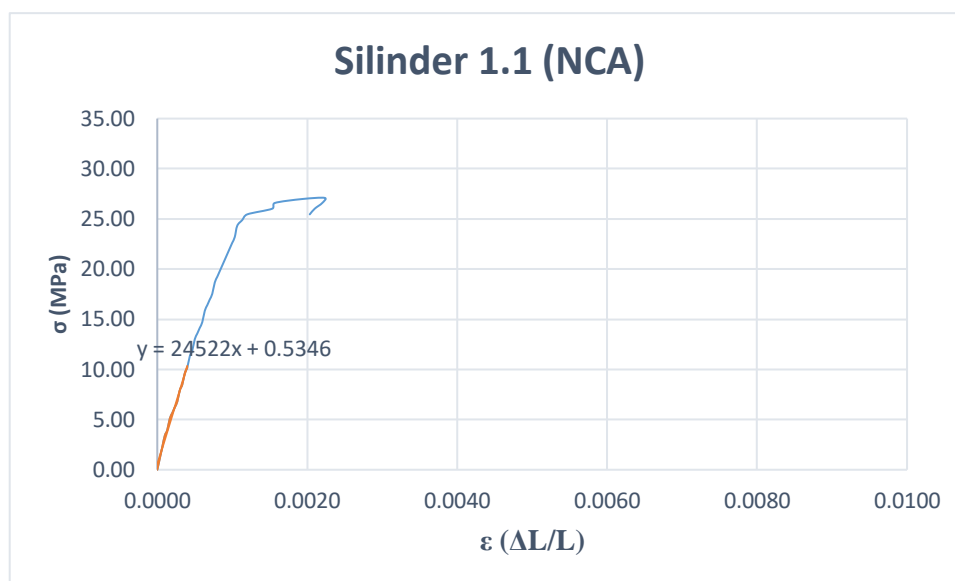
Sesuai dengan SNI 03-2834-2000 bahwa berat isi beton pada umumnya berkisar antara 2200 – 2500 kg/m³. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berat isi benda uji pada penelitian ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan.



Gambar 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Dari Tabel tersebut dapat terlihat secara keseluruhan bahwa benda uji dengan agregat kasar normal mempunyai nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji dengan *Recycled Coarse Aggregate*. Berikut adalah hasil tegangan dan regangan yang terjadi pada masing-masing benda uji :

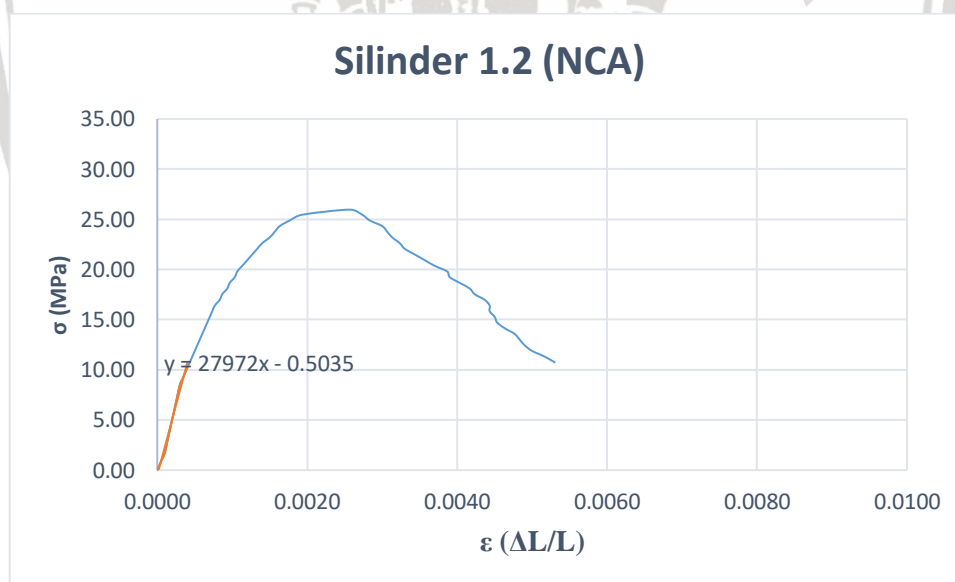
1. Benda Uji Normal
 - NCA 1.1



Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan NCA 1.1

Pada Silinder 1.1 (NCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 479 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,67 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 27,095 MPa dan regangan sebesar 0,002233.

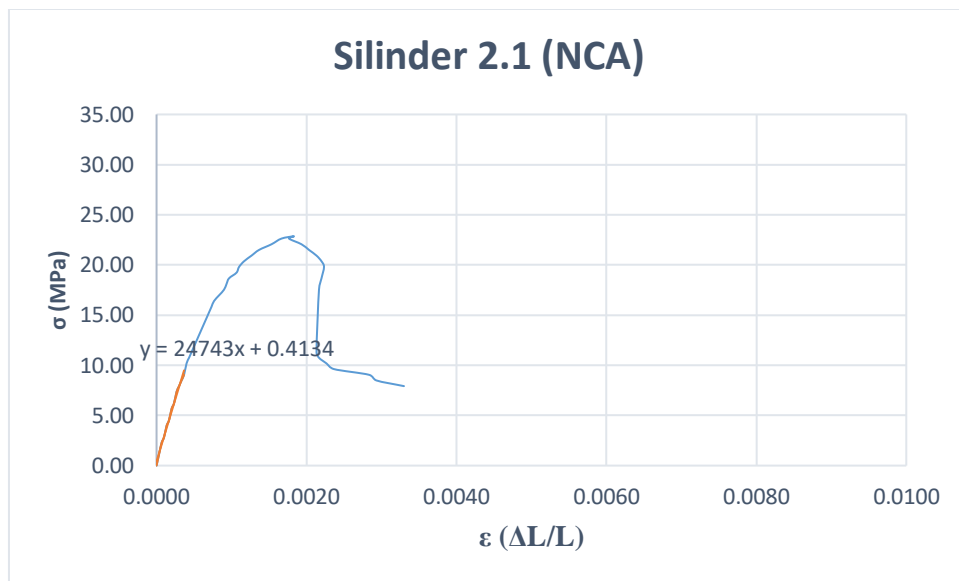
- NCA 1.2



Gambar 4.9 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan NCA 1.2

Pada pengujian Silinder 1.2 (NCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 459 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,77 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 25,964 MPa dan regangan sebesar 0,002567.

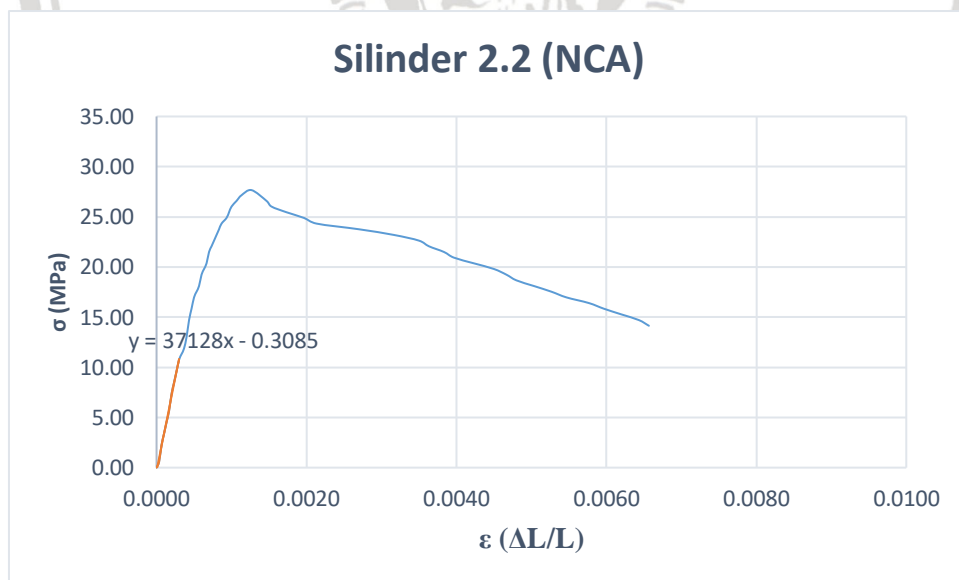
- NCA 2.1



Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan NCA 2.1

Pada pengujian silinder 2.1 (NCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 404 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,55 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 22,853 MPa dan regangan sebesar 0,001833.

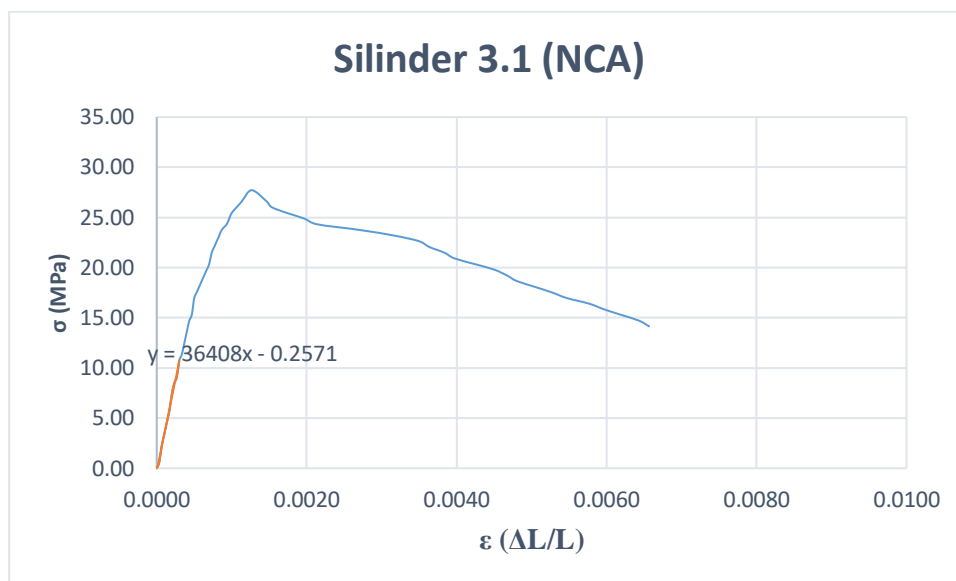
- NCA 2.2



Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan NCA 2.2

Pada pengujian silinder 2.2 (NCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 489 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,38 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 27,661 MPa dan regangan sebesar 0,001267.

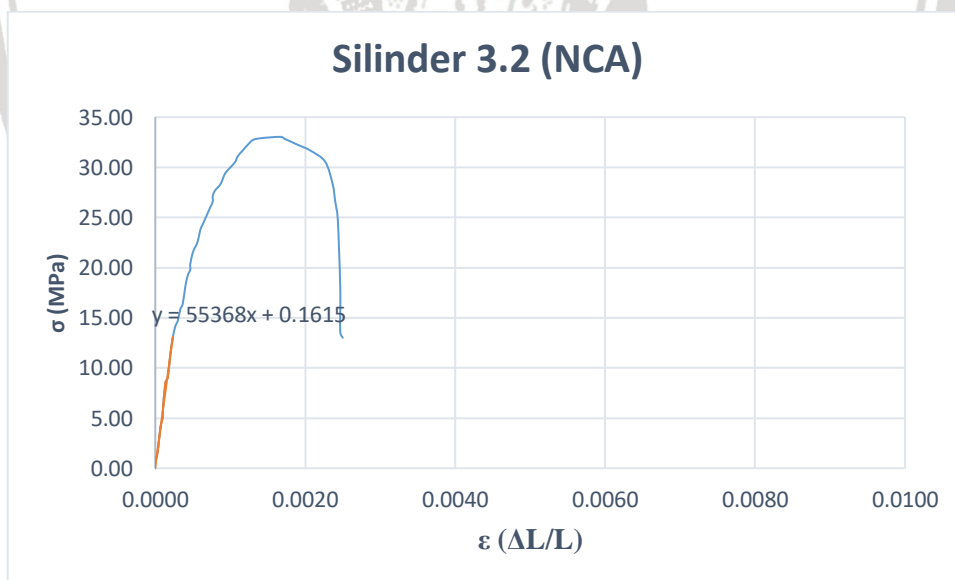
- NCA 3.1



Gambar 4.12 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan NCA 3.1

Pada pengujian silinder 3.1 (NCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 490 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,38 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 27,717 MPa dan regangan sebesar 0,001267.

- NCA 3.2

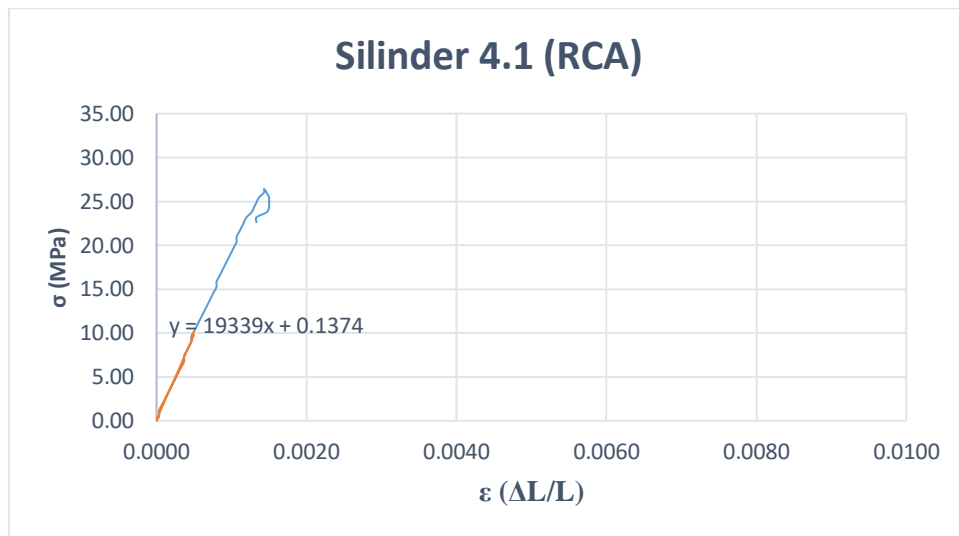


Gambar 4.13 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan NCA 3.2

Pada pengujian silinder 3.2 (NCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 584 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,5 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 33,304 MPa dan regangan sebesar 0,001667.

2. Benda Uji *Recycled Coarse Aggregate*

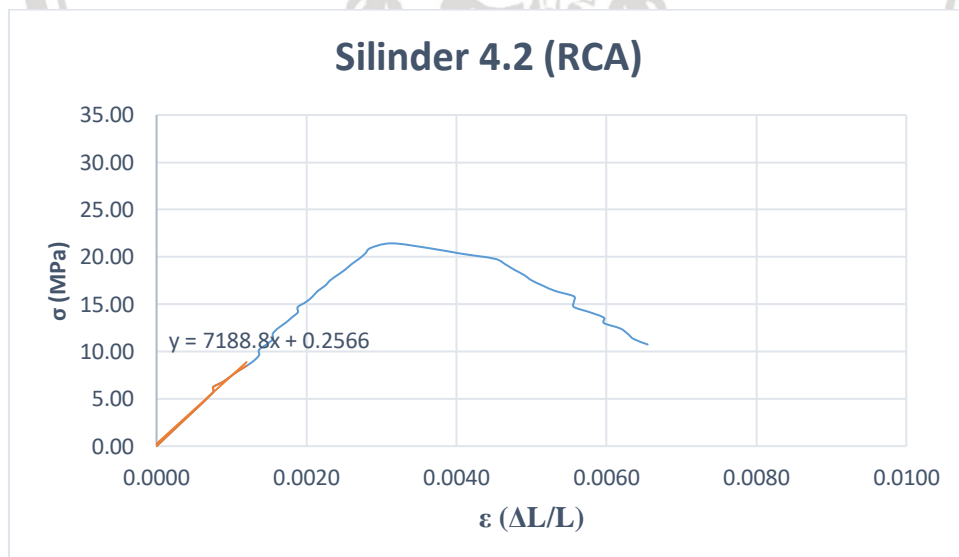
- RCA 4.1



Gambar 4.14 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan RCA 4.1

Pada pengujian silinder 4.1 (RCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 467 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,43 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 26,416 MPa dan regangan sebesar 0,001433.

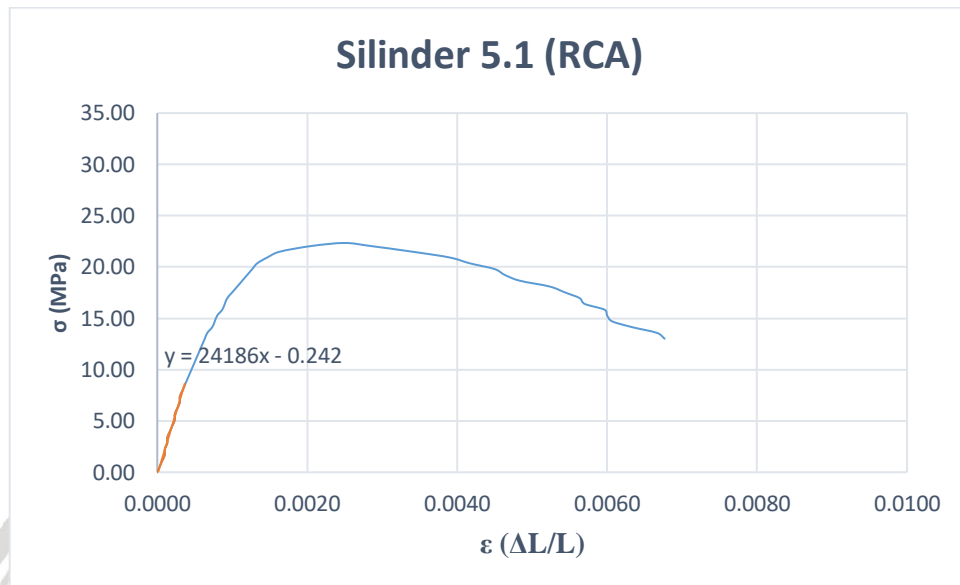
- RCA 4.2



Gambar 4.15 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan RCA 4.2

Pada pengujian silinder 4.2 (RCA) dengan LVDT didapatkan nilai beban maksimum sebesar 379 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,94 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 21,438 MPa dan regangan sebesar 0,003134.

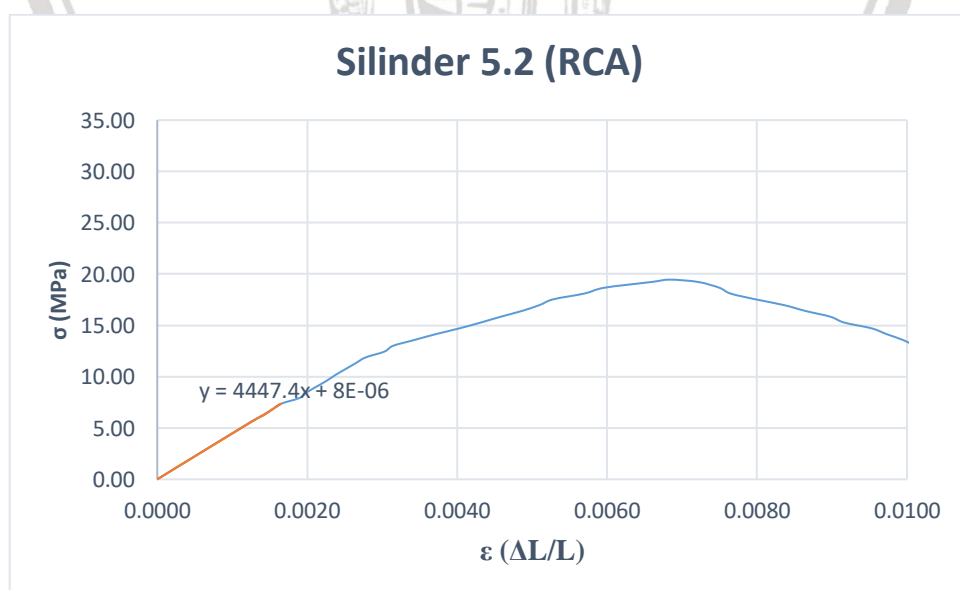
- RCA 5.1



Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan RCA 5.1

Pada pengujian silinder 5.1 (RCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 395 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,75 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 22,343 MPa dan regangan sebesar 0,0025.

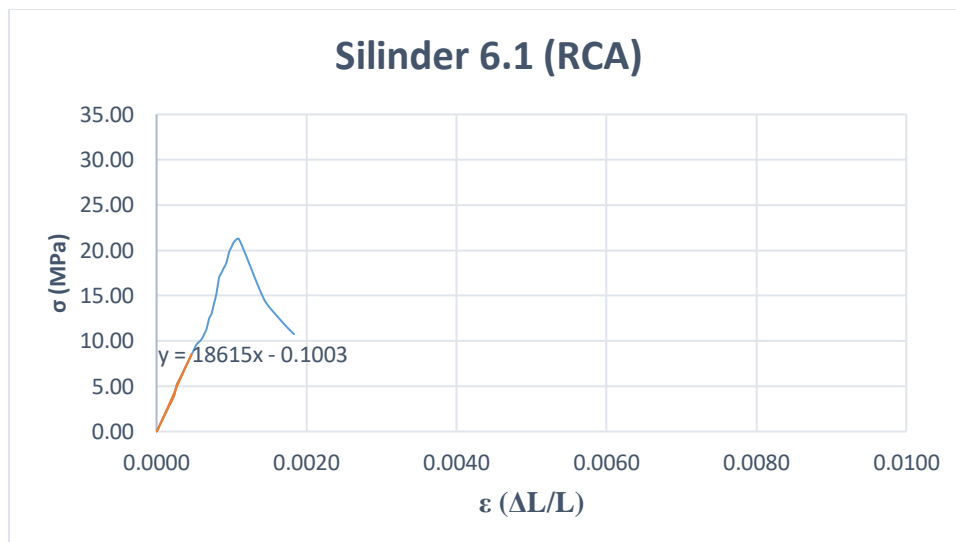
- RCA 5.2



Gambar 4.17 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan RCA 5.2

Pada pengujian silinder 5.2 (RCA) dengan LVDT didapatkan nilai beban maksimum sebesar 344 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 2,05 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 19,459 MPa dan regangan sebesar 0,006829.

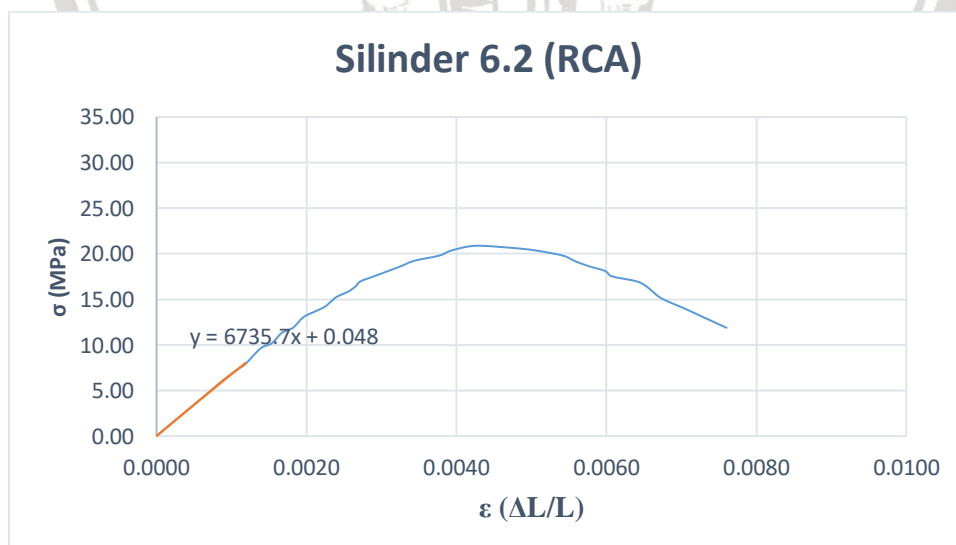
- RCA 6.1



Gambar 4.18 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan RCA 6.1

Pada pengujian silinder 6.1 (RCA) dengan ekstensometer didapatkan nilai beban maksimum sebesar 375 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 0,33 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 21,212 MPa dan regangan sebesar 0,0011.

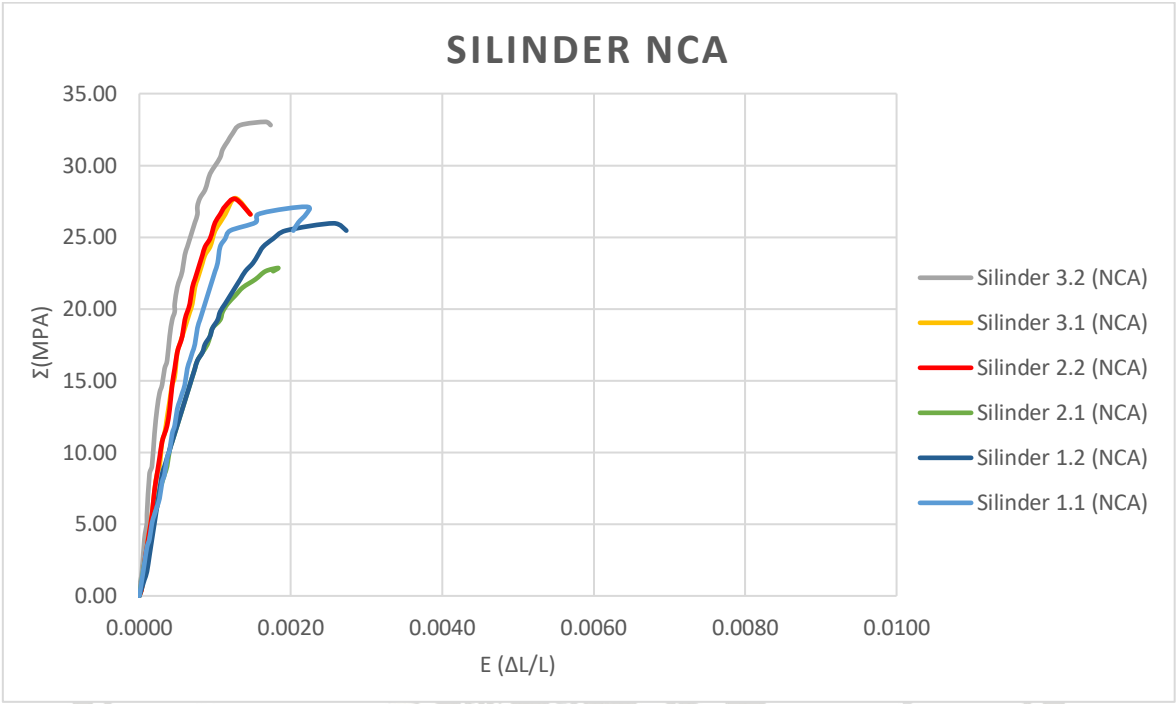
- RCA 6.2



Gambar 4.19 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan RCA 6.2

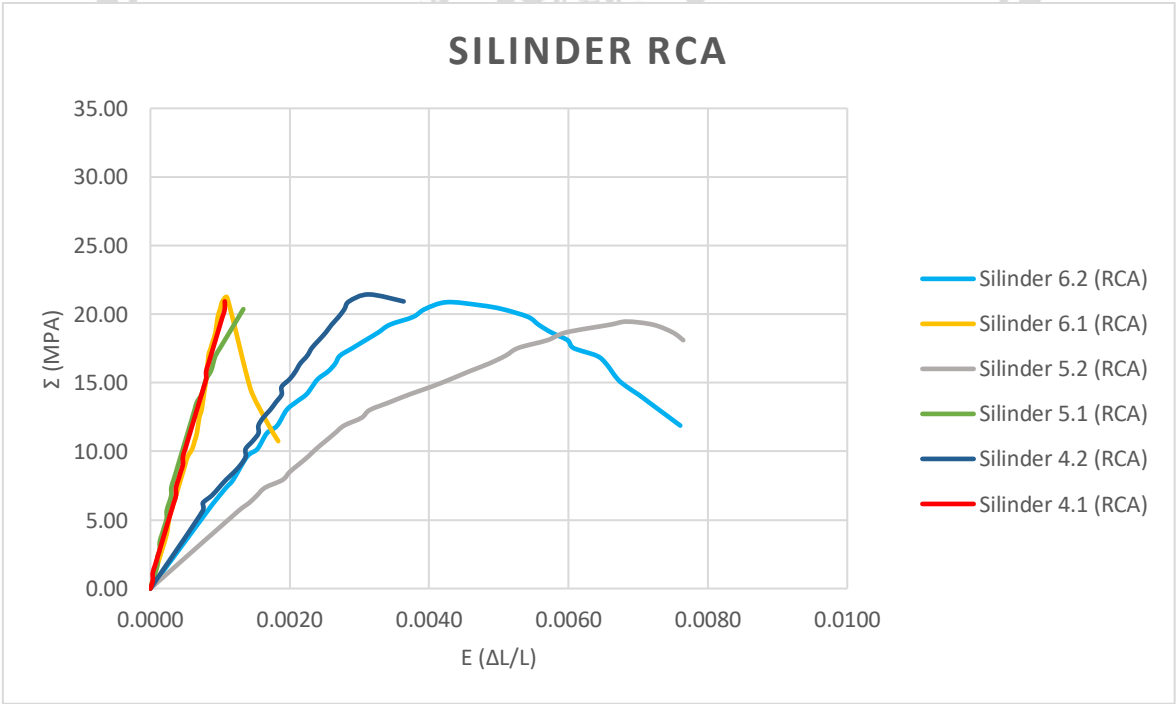
Pada pengujian silinder 6.2 (RCA) dengan LVDT didapatkan nilai beban maksimum sebesar 369 KN dengan deformasi yang dihasilkan senilai 1,28 mm. Sehingga didapat tegangan sebesar 20,87 MPa dan regangan sebesar 0,0043.

- Gabungan Silinder NCA



Gambar 4.20 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan Silinder NCA

- Gabungan Silinder RCA



Gambar 4.21 Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan Silinder RCA

Pada pengujian kuat Tekan Silinder bisa dilihat bahwa secara rata-rata silinder dengan material NCA memiliki kuat tekan lebih besar jika dibandingkan dengan rata-rata silinder dengan material RCA. RCA yang digunakan adalah hasil penggilingan beton silinder bekas dengan mutu K-300 s/d K-350.

Pada pengujian Silinder 3.2 (NCA) terjadi kerusakan pada alat ekstensometer. Hal tersebut menyebabkan grafik Silinder 3.2 (NCA) tidak layak untuk digabungkan dengan silinder NCA lainnya. Demikian juga dengan benda uji yang memakai LVDT. Dari grafik gabungan silinder RCA terlihat bahwa RCA 4.2 , RCA 5.2 dan RCA 6.2 berbeda dengan silinder RCA lain yang memakai ekstensometer sebagai alat pengujian. Maka dari itu RCA 4.2, RCA 5.2 dan RCA 6.2 tidak dilakukan perhitungan kekakuan ataupun modulus elastisitas.

4.2.3 Kekakuan pada Benda Uji

Dalam penelitian ini hasil dari gaya tekan dan deformasi akan didapatkan nilai kekakuan. Dimana nilai kekakuan pada suatu struktur merupakan bagian yang penting dan perlu diperhatikan. Kekakuan digunakan sebagai pembatas agar menjaga konstruksi untuk tidak melendut melebihi dari lendutan yang disyaratkan. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan deformasi.

Nilai kekakuan didapatkan dari rumus :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Deformasi (mm)

Pada analisis data untuk mencari nilai modulus elastisitas seluruh benda uji memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan diambil dari 75 % nilai gaya tekan atau beban maksimum dan nilai deformasi diambil dari nilai deformasi pada saat nilai gaya tekan yang didapat 75% gaya tekan maksimum.

Tabel 4.19

Tabel data kekakuan hasil benda uji

Benda Uji	Pmaks (KN)	75% Pmaks	ΔL (mm)	Kekakuan (KN/mm)	rata-rata
NCA 1.1	479	359,25	0,27	1330,56	1429,89
NCA 1.2	459	344,25	0,31	1110,48	
NCA 2.1	404	303	0,25	1212,00	
NCA 2.2	489	366,75	0,21	1746,43	
NCA 3.1	490	367,5	0,21	1750,00	
RCA 4.1	467	350,25	0,31	1129,84	1132,98
RCA 5.1	395	296,25	0,27	1097,22	
RCA 6.1	375	281,25	0,24	1171,88	

Contoh perhitungan kekakuan pada Beton NCA 1.1 :

Dik :

$$P_{\max} = 479 \text{ KN}$$

$$75\% P_{\max} = 75 \% \times 479 = 359,25 \text{ kN}$$

$$\Delta = 0,27 \text{ mm}$$

Dit : k ?

Jawab :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{359,25 \text{ kN}}{0,27 \text{ mm}}$$

$$k = 1330,56 \text{ kN/mm}$$

Pada tabel 4.19 didapat rekapitulasi mengenai kekakuan yang terjadi pada seluruh benda uji dan kekakuan rata-rata yang tertinggi didapat pada Beton dengan agregat normal yang nilainya jauh lebih besar dibandingkan rata-rata benda uji yang memakai *Recycled Coarse Aggregate* didalamnya.

4.2.4 Uji Modulus Elastisitas (*Extensometer*)

Uji modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan uji kuat tekan dengan tambahan alat pembaca regangan yang disebut *extensometer*. Perubahan yang terjadi pada *dial* dibaca seiring dengan bertambahnya beban hingga benda uji mengalami

keruntuhan yang artinya benda uji tidak mampu lagi menahan beban tekan yang diberikan dan saat itulah pembacaan *dial* pada *extensometer* dihentikan.

Modulus Elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Beberapa faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas adalah umur beton, kelembaban benda uji dan agregat penyusun beton. Dalam menghitung modulus elastisitas, peneliti mengacu pada empat jenis perhitungan modulus elastisitas, antara lain sebagai berikut :



Gambar 4.22 Proses Pengujian Kuat Tekan dengan *Extensometer*

Dalam perhitungan modulus elastisitas terdapat banyak sekali pendekatan berdasarkan penelitian-penelitian para ahli. Berikut perhitungan modulus elastisitas :

1. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus Eurocode 2 (1992) atau Wang dan Salmon

Menurut Wang dan Salmon digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai beton sebagai berikut :

$$E_c = \frac{0.4 \times f_{max}}{\varepsilon} \dots\dots\dots(4 - 4)$$

Dimana :

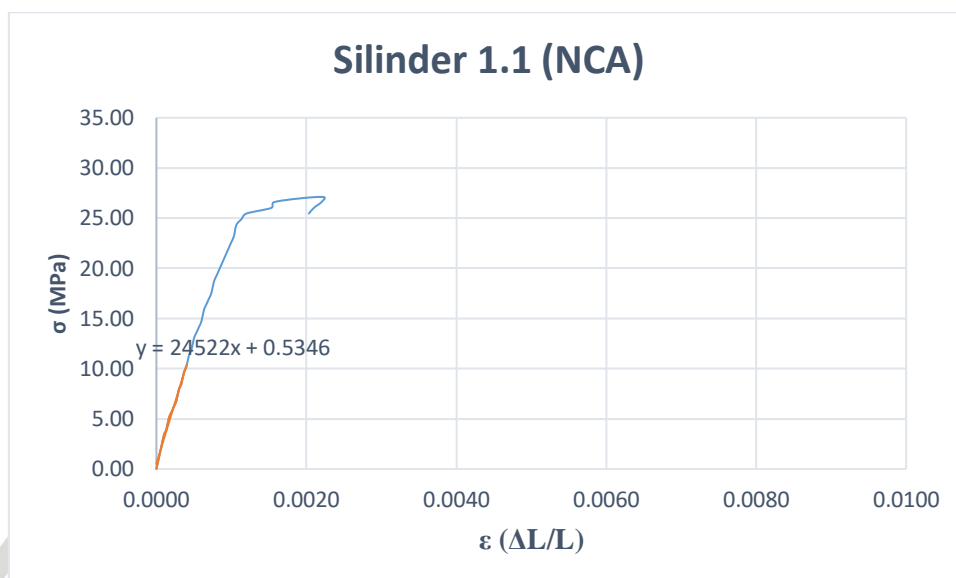
E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

f_{max} = tegangan beton maksimum (MPa)

ε = regangan beton

Contoh perhitungan :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji Silinder 1.1 (NCA)
- Lihat data pembacaan *extensometer* terdapat pada lampiran
- Plot grafik hasil pembacaan data extensometer pada gambar 4.45



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Silinder 1.1 (NCA)

- Dari grafik hubungan tegangan dan regangan silinder 1.1 (NCA), dibuat garis bantu linier yang bersinggungan dengan grafik tersebut sehingga diperoleh batas elastis yang terletak pada tegangan sebesar 27,09 MPa dan regangan sebesar 0.0022
- Menghitung nilai $0,4f_c = 0,4 \times 27,09 = 10,84$ MPa
- Menghitung nilai regangan (ϵ) saat 10,84 MPa dengan menggunakan persamaan garis yang terdapat pada gambar 4.23

$$y = 24522x + 0,5346$$

$$10,84 = 24522x + 0,5346$$

$$x = 0.0004 \rightarrow \text{nilai regangan saat } 0.4f_c$$

- Menghitung nilai elastisitas dengan menggunakan rumus Eurocode 2 :

$$E_c = \frac{10,84}{0.0004} = 25789,29 \text{ MPa}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan cara Wang dan Salmon (1986) dapat dilihat pada tabel 4.20

Tabel 4.20

Hasil pengujian uji modulus elastisitas menurut Eurocode 2 atau Wang dan Salmon

Benda Uji	$\sigma = 0,4 f'c$	ϵ_2	Eurocode 2-1992	rata-rata
NCA 1.1	10,84	0,0004	25789,29	30017,32
NCA 1.2	10,39	0,0004	26678,59	
NCA 2.1	9,14	0,0004	25915,00	
NCA 2.2	11,06	0,0003	36120,86	
NCA 3.1	11,09	0,0003	35582,85	
RCA 4.1	10,57	0,0005	19593,79	20513,23
RCA 5.1	8,94	0,0004	23548,37	
RCA 6.1	8,48	0,0005	18397,52	

2. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus ASTM C-469

Perhitungan Modulus Elastisitas berdsarkan rumus ASTM C-469 ini disebut juga modulus chord. Adapun perhitungan modulus elastisitas chord (*chord modul*) adalah sebagai berikut :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_c - 0.00005} \dots\dots\dots(4 - 5)$$

dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Tegangan sebesar 0.4 $f'c$

S_1 = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0.00005

ϵ_c = Regangan longitudinal akibat Tegangan S_2

Contoh perhitungan :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji silinder 1.2 (NCA)

- Grafik hasil pembacaan dial extensometer dapat dilihat pada gambar 4.24

$$- S_2 = 0.4f'c = 0.4 \times 25,96 = 10,39 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} - S_1 = y &= 27972x + 0,5035 \\ &= 27972 (0,00005) + 0,5035 \\ &= 0,8951 \end{aligned}$$

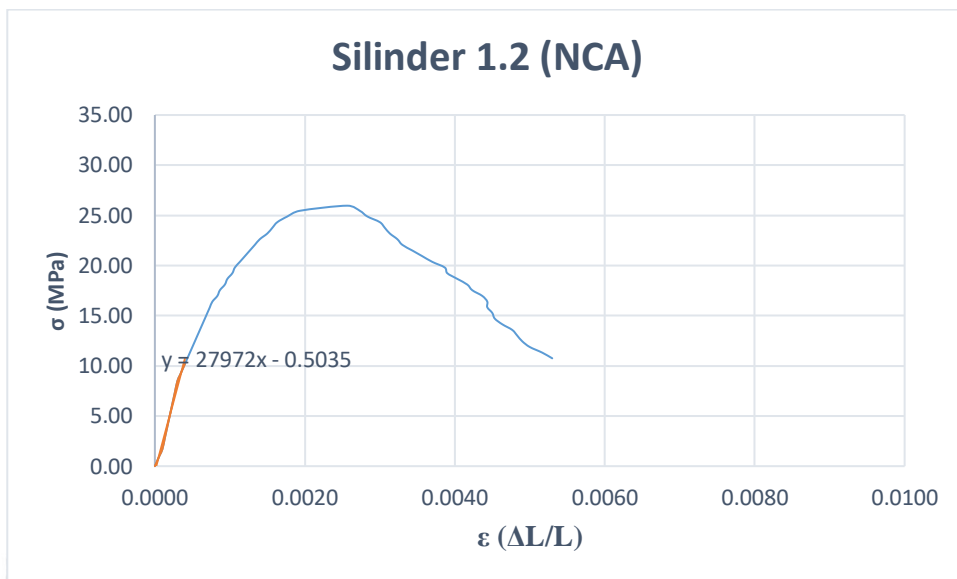
$$\begin{aligned} - \epsilon_c = x \rightarrow y &= 27972x + 0,5035 \\ 10,39 &= 27972x + 0,5035 \end{aligned}$$

$$10,89 = 27972x$$

$$x = 0.000389$$

- Menghitung nilai elastisitas dengan menggunakan rumus ASTM C-469 :

$$Ec = \frac{10,39 - 0,8951}{0.000389 - 0.00005} = 27972 \text{ MPa}$$



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Silinder 1.2

Berikut hasil pengujian moduus elastisitas dengan menggunakan rumus ASTM C-469 dapat dilihat pada tabel 4.46

Tabel 4.21

Hasil pengujian uji modulus elastisitas menurut rumus ASTM C-469

Benda Uji	Tegangan	$\sigma_2 = 0,4 f'_c$	ϵ_2	σ_1 (MPa)	ϵ_1	ME (MPa)	RERATA
NCA 1.1	27,09	10,84	0,00042	1,76	0,00005	24516,54	30153,51
NCA 1.2	25,96	10,39	0,00039	0,90	0,00005	27972,00	
NCA 2.1	22,85	9,14	0,00035	1,65	0,00005	24743,00	
NCA 2.2	27,66	11,06	0,00031	1,55	0,00005	37128,00	
NCA 3.1	27,72	11,09	0,00031	1,56	0,00005	36408,00	
RCA 4.1	26,42	10,57	0,00054	1,10	0,00005	19339,00	20815,64
RCA 5.1	22,34	8,94	0,00038	1,45	0,00005	22717,25	
RCA 6.1	21,21	8,48	0,00046	0,10	0,00005	20390,68	

3. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan SK SNI T-15-1991

Perhitungan Modulus Elastisitas Beton menggunakan rumus pada SK SNI – T – 15 – 1991 adalah sebagai berikut :

- a. Rumus yang digunakan untuk $1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots(4 - 6)$$

Keterangan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat satuan beton (kg/m^3)

f_c = Kuat Tekan beton silinder (MPa)

Contoh Perhitungan :

Misal menghitung modulus elastisitas benda uji Silinder 4.1 (RCA)

Diketahui : $W_c = 2356,9 \text{ kg/m}^3$

$f_c = 26,42 \text{ MPa}$

Sehingga : $E_c = 0.043 \times 2356,9^{1.5} \times 26,42^{0.5}$
 $= 25288,07 \text{ MPa}$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SK SNI T – 15 – 1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$) dapat dilihat pada tabel 4.22

Tabel 4.22

Hasil pengujian uji modulus elastisitas menurut SK SNI T – 15 – 1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$)

Benda Uji	Tegangan	Wc	SKSNI T-15-1991	rata-rata
NCA 1.1	27,09	2517,17	28267,14	28069,48
NCA 1.2	25,96	2526,60	27826,32	
NCA 2.1	22,85	2507,74	25814,30	
NCA 2.2	27,66	2554,88	29204,89	
NCA 3.1	27,72	2554,88	29234,74	
RCA 4.1	26,42	2356,90	25288,07	24147,30
RCA 5.1	22,34	2366,33	23396,80	
RCA 6.1	21,21	2432,32	23757,05	

Tabel 4.23

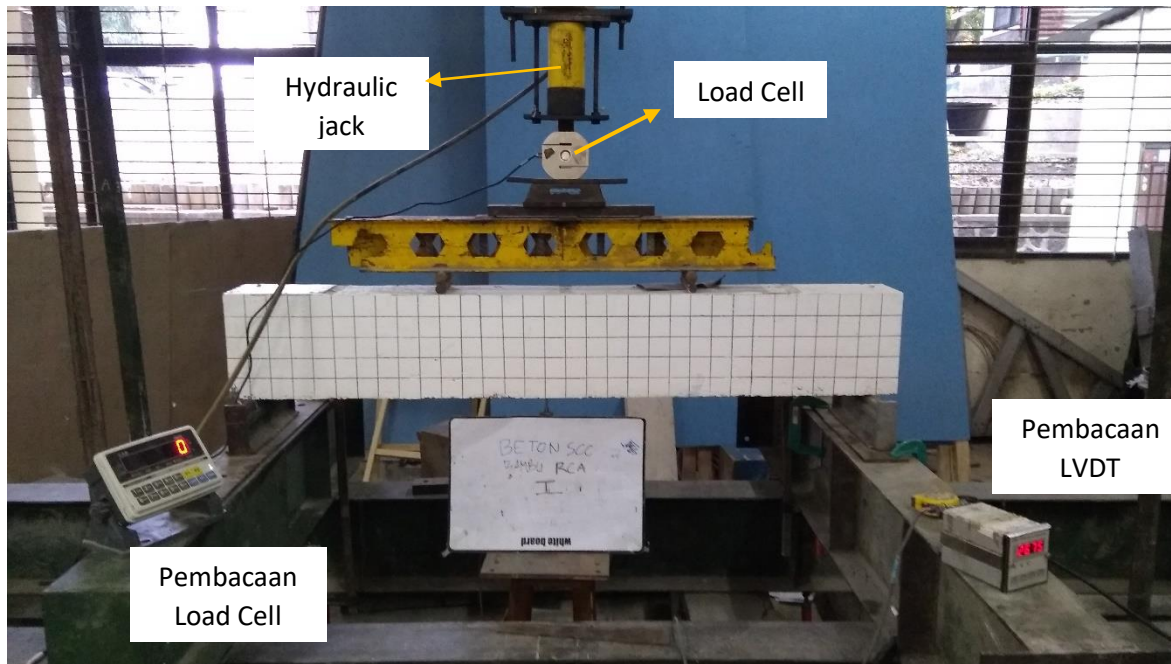
Nilai Modulus Elastisitas antar Metode Perhitungan

Benda Uji	Tegangan	SKSNI T-15-1991	Eurocode 2-1992	ASTM C-469
NCA 1.1	27,09	28069,48	30017,32	30153,50874
NCA 1.2	25,96			
NCA 2.1	22,85			
NCA 2.2	27,66			
NCA 3.1	27,72			
RCA 4.1	26,42	24147,30	20513,23	20815,64
RCA 5.1	22,34			
RCA 6.1	21,21			

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa dari beberapa metode yang digunakan dalam menentukan nilai modulus elastisitas, Silinder NCA memiliki nilai Modulus Elastisitas yang lebih besar dibanding benda uji Silinder RCA. Hal tersebut sesuai dengan hasil kuat tekan yang sudah dianalisa sebelumnya.

4.3 Pemodelan Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian kuat lentur balok dalam penelitian ini dilakukan di Labolatorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Total benda uji balok yang akan diuji sebanyak 6 buah dengan dimensi balok yaitu 15 cm x 25 cm x 160 cm. Pengujian dilakukan pada usia beton 28 hari. Pengujian kuat lentur berguna untuk mengetahui respon lentur dari benda uji balok. Dimana diantaranya mendapat beban maksimum, lendutan maksimum dan juga pola retakan yang dapat dianalisa. Pengujian kuat lentur pada balok ini menggunakan *hydraulic jack* sebagai pemberi beban bertahap, *load cell* sebagai media penyalur beban (kapasitas *load cell* yaitu 10 Ton), dan 1 buah LVDT yang dipasangkan tepat dibawah bagian tengah balok yang akan diuji. Pengujian balok dilakukan pada *loading frame* yang mempunyai tumpuan sendi dan roll sebagai tumpuan benda uji balok yang siap diuji. Balok yang siap diuji harus sudah diberi lapisan cat pada bagian depan, setelah itu diberi garis dengan jarak 5 cm x 5 cm sebagai *grid*. Penambahan *grid* pada benda uji balok yang akan diuji adalah untuk mempermudah menganalisa pola retak yang terjadi. Berikut ini contoh pemodelan pengujian balok dari SCC bertulangan bambu (Balok NCA 1).

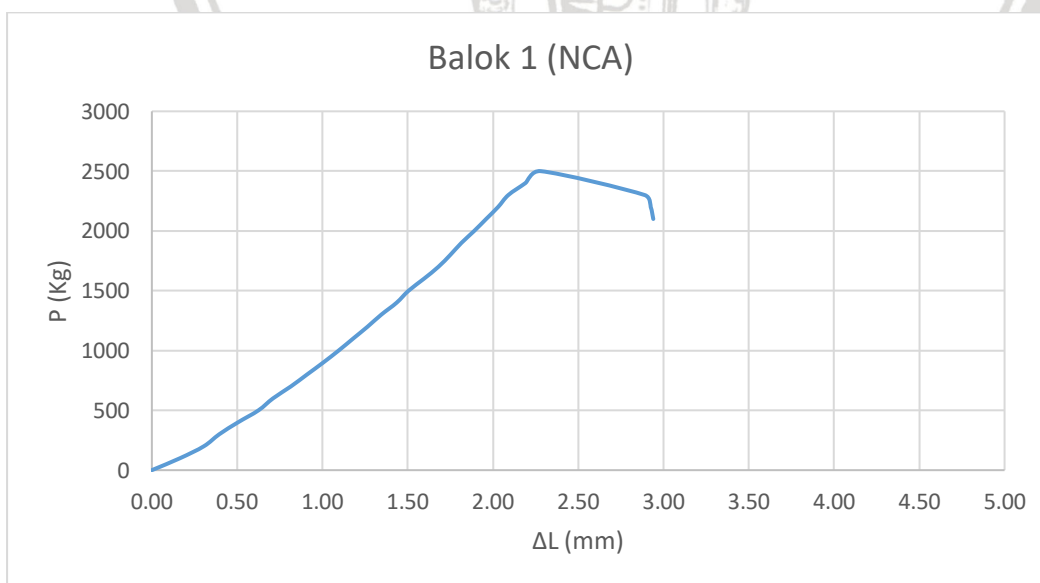


Gambar 4.24 Pemodelan pengujian balok

4.4 Hasil Pengujian Balok

Dalam pengujian balok bertulangan bambu dengan metode *Self Compacted Concrete* (SCC) didapatkan nilai beban yang dapat ditahan balok. Pengujian balok dilakukan dengan cara memompa *hydraulic jack* hingga balok tersebut runtuh atau tulangan dianggap sudah patah/leleh. Berikut hasil pengujian dengan hasil beban yang dapat ditanggung pada setiap balok :

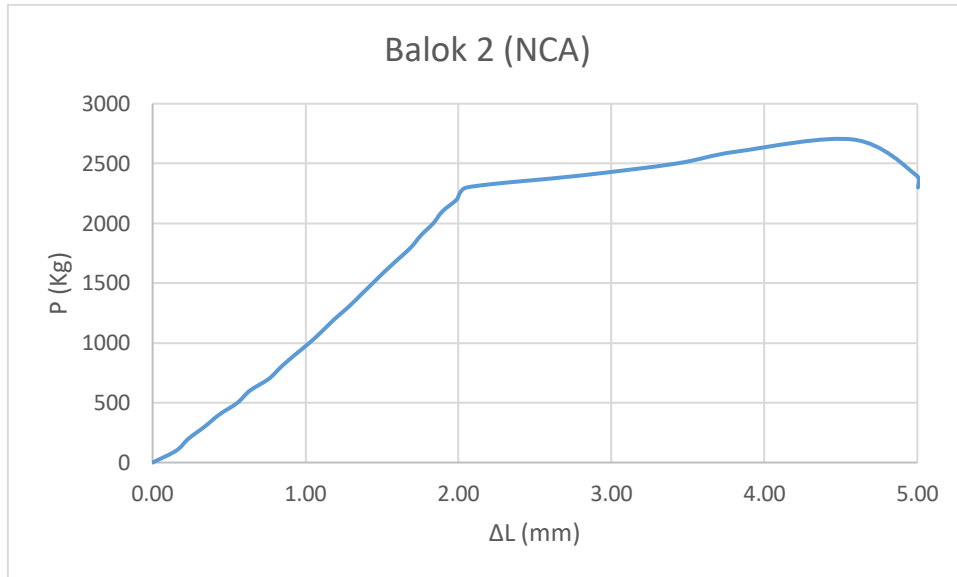
- Balok NCA 1



Gambar 4.25 Grafik Hubungan antara Beban dan Deformasi Balok 1 (NCA)

Pada pengujian balok 1 (NCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 2500 Kg dengan deformasi yang dihasilkan senilai 2,28 mm.

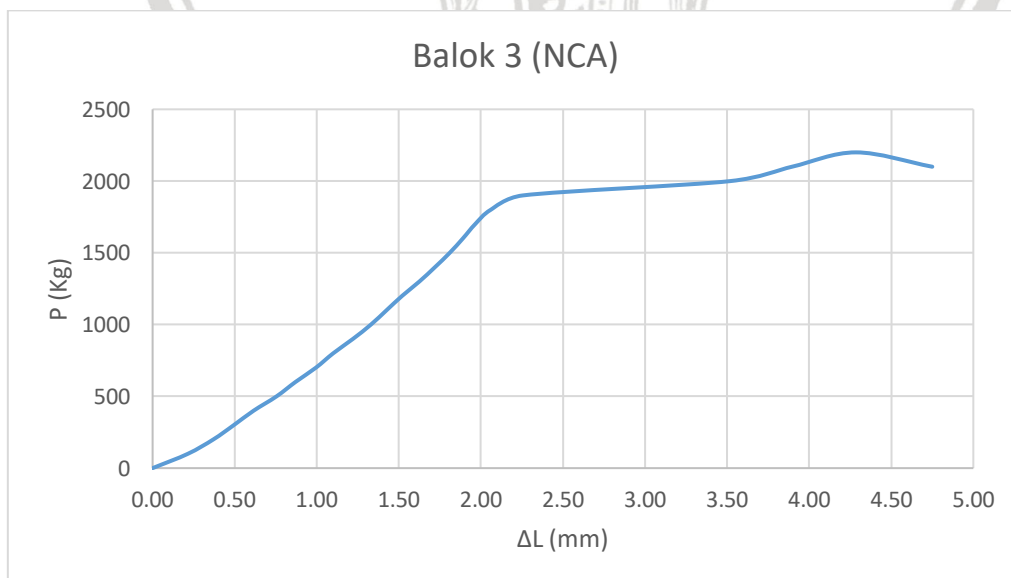
- Balok NCA 2



Gambar 4.26 Grafik Hubungan antara Beban dan Deformasi Balok 2 (NCA)

Pada pengujian balok 2 (NCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 2700 Kg dengan deformasi yang dihasilkan senilai 4,59 mm. Dari grafik diatas juga dapat terlihat bahwa balok mengalami daerah plastis dan memiliki batas elastis pada saat beban 2300 Kg.

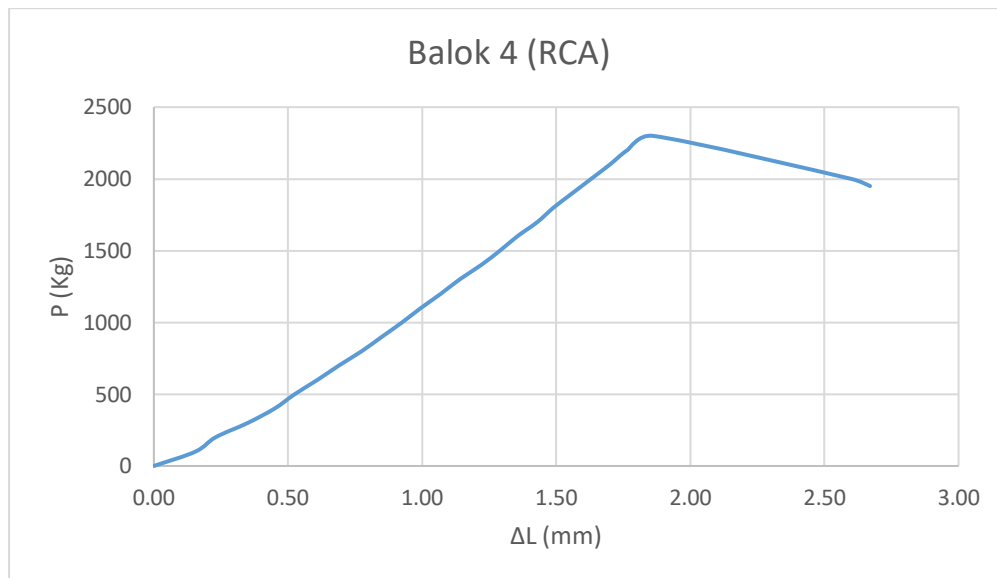
- Balok NCA 3



Gambar 4.27 Grafik Hubungan antara Beban dan Deformasi Balok 3 (NCA)

Pada pengujian balok 3 (NCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 2200 Kg dengan deformasi yang dihasilkan senilai 4,29 mm. Dari pengujian balok 3 ini, didapat retak awal pada saat beban 1900 Kg. Dan grafik diatas juga dapat terlihat bahwa balok mengalami daerah plastis dan memiliki batas elastis pada saat beban 1900 Kg.

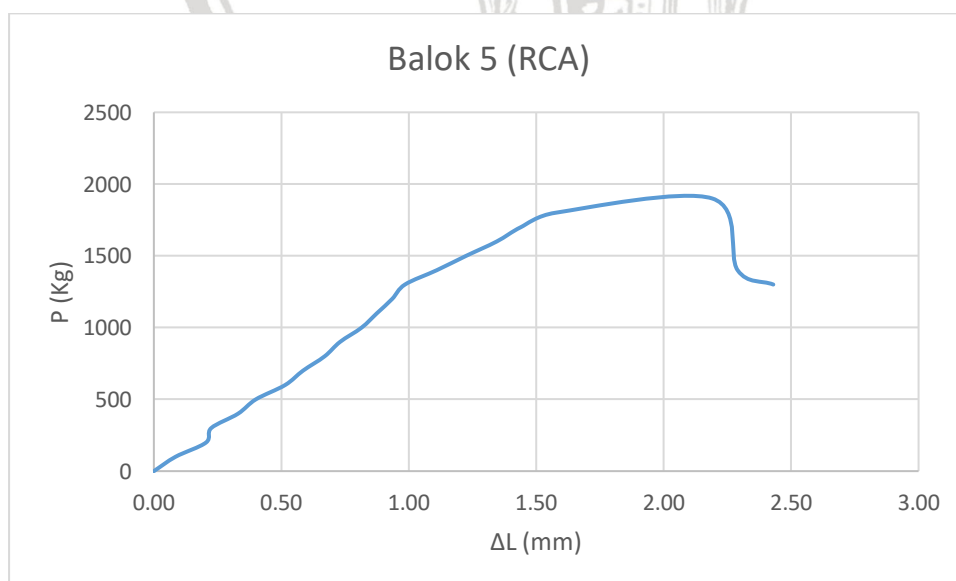
- Balok RCA 4



Gambar 4.28 Grafik Hubungan antara Beban dan Deformasi Balok 4 (RCA)

Pada pengujian balok 4 (RCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 2300 Kg dengan deformasi yang dihasilkan senilai 1,86 mm. Balok tidak memiliki daerah plastis.

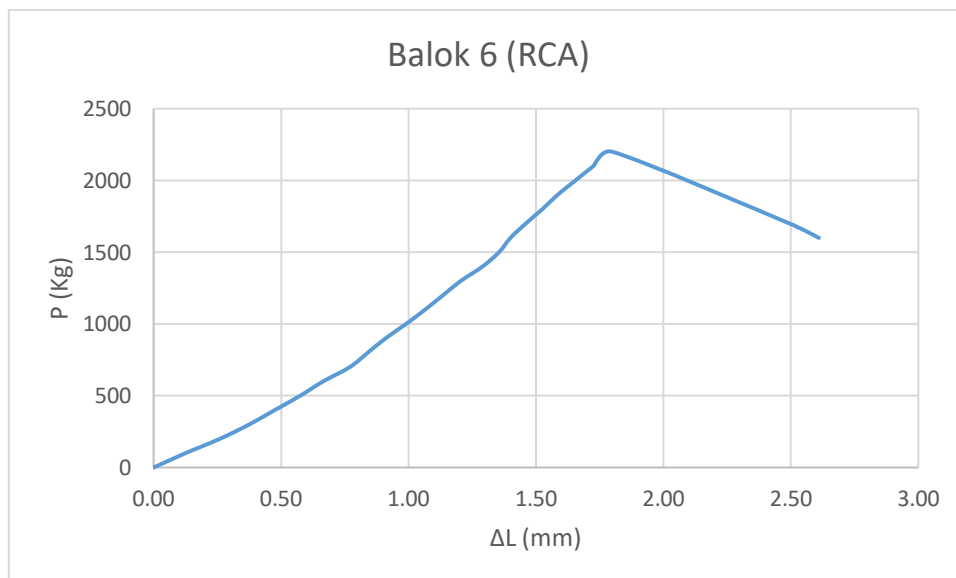
- Balok RCA 5



Gambar 4.29 Grafik Hubungan antara Beban dan Deformasi Balok 5 (RCA)

Pada pengujian balok 5 (RCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 1900 Kg dengan deformasi yang dihasilkan senilai 2,19 mm. Balok tidak memiliki daerah plastis.

- Balok RCA 6



Gambar 4.30 Grafik Hubungan antara Beban dan Deformasi Balok 6 (RCA)

Pada pengujian balok 6 (RCA) didapatkan nilai beban maksimum sebesar 2200 Kg dengan deformasi yang dihasilkan senilai 1,8 mm. Balok tidak memiliki daerah plastis.

Tabel 4.24

Hasil beban aktual

Benda Uji	retak 1	retak 2	retak 3	batas elastis	batas runtuh	rata - rata
NCA 1	2500	-	-	2500	2500	2466,667
NCA 2	2700	-	-	2300	2700	
NCA 3	1900	2200	-	1900	2200	
RCA 4	2300	2300	-	2300	2300	2133,333
RCA 5	1900	1600	1700	1900	1900	
RCA 6	2200	1900	-	2200	2200	

Keterangan : nilai beban diatas dalam satuan kilogram (Kg)

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa beban yang dapat ditanggung balok dengan material NCA dengan rata-rata 2466,67 Kg lebih besar dibanding dengan balok RCA dengan rata-rata 2133,33 Kg. Balok bertulangan bambu memiliki kelemahan dalam hal menahan beban yaitu tidak adanya tanda-tanda runtuh seperti balok konvensional lainnya. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada analisa pola retak.

4.4.1 Perhitungan Beban Teoritis

Perhitungan beban teoritis membutuhkan kuat tarik bambu untuk dapat menentukan beban yang mampu diterima balok. Oleh sebab itu didapatkan data kuat tarik bambu dari pengujian pull out sebagai berikut :

Tabel 4.25

Data kuat tarik *Pull-Out*

benda uji		P max	Rata-rata
NCA	8	1900	2158,333
	6a	2000	
	6b	2450	
RCA	5a	2050	
	5b	1900	
	7	2650	

Dengan luas tulangan : $A_s = 289,94 \text{ mm}^2$

Didapat, $f_y (\text{bambu}) = 74,44 \text{ MPa}$

Sehingga dapat kita ambil contoh perhitungan pada balok NCA. Dan diketahui data berikut:

$$\begin{aligned}
 f_c &= 27,39 \text{ MPa} \\
 f_y &= 74,44 \text{ MPa} \\
 \varepsilon (\text{regangan}) &= 0,003 \\
 E_s &= \frac{f_y}{\varepsilon} \\
 &= 24813,29 \text{ MPa} \\
 L &= 1500 \text{ mm} \\
 b &= 150 \text{ mm} \\
 h &= 250 \text{ mm} \\
 d' &= 30 \text{ mm} \\
 d &= h - d' \\
 &= 220 \text{ mm} \\
 \text{tulangan tarik} \\
 A_s &= 289,94 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keseimbangan gaya :

$$\begin{aligned}
 C &= T \\
 C_c + C_s &= T \\
 0,85.f_c.b.a &= A_s.f_y \\
 3491,869 a &= 21583,33 \\
 a &= 6,18
 \end{aligned}$$

Garis netral :

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta} \\
 &= \frac{6,18}{0,85} \\
 &= 7,272 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

kontrol regangan tarik bambu (ϵ_s) :

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{d - c}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{220 - 7,27}{7,27} \\
 &= 0,0878
 \end{aligned}$$

Tegangan Tarik

$$\begin{aligned}
 f_s &= \epsilon_s \times E_s \\
 &= 0,0878 \times 24813,3 \\
 &= 2177,655 \\
 &= 2177,655 > 85,84 \text{ MPa (tulangan tarik sudah leleh)}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 289,94 \times 74,44 \times (220 - 6,18/2) \\
 &= 4681630 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Beban lentur untuk 1 beban terpusat :

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_n \\
 R_a \times 0,5 L &= M_n \\
 R_a \times 0,5 L &= 468163 \text{ Kgmm} \\
 R_a &= 624,2173 \text{ Kg} \\
 P &= 2 R_a \\
 &= 1248,435 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

untuk 2 beban terpusat :

$$M_u = M_n$$

$$\begin{aligned}
 0,5P \times L &= Mn \\
 0,5P \times 45 &= 468163 \text{ Kgmm} \\
 P &= 2080,724 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Jadi pada balok NCA didapat P teoritis sebesar 2080,724 Kg. Berikut hasil perhitungan teoritis dan aktual dapat dilihat pada **tabel 4.26**.

Tabel 4.26

Hasil beban aktual dan teoritis

Benda Uji Balok	P (Kg)			KR (%)
	aktual	rata-rata	teoritis	
NCA 1	2500	2466,667	2080,724	16%
NCA 2	2700			
NCA 3	2200			
RCA 1	2300	2133,333	2073,392	3%
RCA 2	1900			
RCA 3	2200			

Berdasarkan hasil yang diperoleh nilai beban maksimum aktual memiliki selisih dengan nilai teoritis yang telah diperhitungkan dengan nilai kesalahan relatif (KR) sebesar 16%. Perhitungan benda uji RCA dapat dilihat pada lampiran. Ketidaksamaan hasil antara teoritis dan juga aktual terjadi karena kurang presisinya perhitungan luasan tulangan yang menyebabkan kurang tepatnya tegangan tarik (F_y) dari tulangan bambu tersebut. Tulangan bambu yang dipakai memiliki dimensi 4 mm. Namun setelah direndam dengan NaOH 1% lalu dilapisi sikadur dan juga pasir, dimensi tulangan menjadi berubah. Sehingga perhitungan luasan harus memakai keliling dari tulangan bambu. Namun dalam menghitung keliling, hanya bisa dilakukan dengan menggunakan benang yang menyebabkan kurang presisinya nilai dari keliling tulangan. Perhitungan luas tulangan dapat dilihat dalam lampiran.

4.5 Analisa Lentur Balok

4.5.1 Lendutan Aktual

Dalam pengujian balok didapatkan nilai lendutan yang didapat dari alat LVDT. Berikut hasil aktual yang didapat dalam pengujian balok :

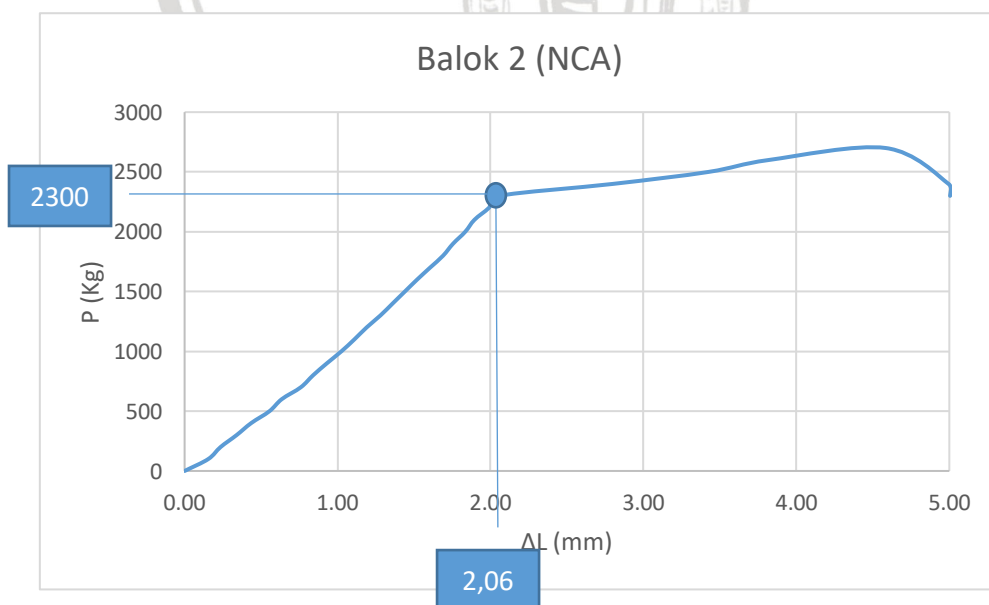
Tabel 4.27

Hasil lendutan aktual

Benda Uji Balok	P (Kg)	ΔL (mm) aktual	rata-rata (mm)
NCA 1	2500	2,28	2,20
NCA 2	2300	2,06	
NCA 3	1900	2,26	
RCA 4	2300	1,86	1,95
RCA 5	1900	2,19	
RCA 6	2200	1,80	

Berdasarkan data tabel 4.27 , terlihat bahwa balok bambu metode SCC dengan material NCA maupun balok bambu metode SCC dengan material RCA memiliki perbedaan yang cukup terlihat pada lendutan yang terjadi. Dapat kita lihat pada NCA 3 dengan RCA 5 yang memiliki kemampuan menahan beban yang sama yakni sebesar 190 Kg namun memiliki deformasi yang berbeda, dimana pada balok NCA 3 memiliki nilai deformasi sebesar 2,26 mm sedangkan RCA 5 memiliki nilai deformasi sebesar 2,19 mm. Begitu juga pada NCA 2 yang memiliki beban yang sama dengan RCA 5 namun memiliki nilai deformasi yang lebih besar dengan nilai 2,06 mm Dan jika dilihat dari rata-rata dapat dilihat bahwa NCA memiliki deformasi yang lebih besar dibanding RCA. Hal ini menandakan bahwa NCA lebih daktail dibanding dengan RCA. Terbukti dengan adanya daerah plastis pada NCA 2 dan NCA 3 pada pengujian kuat lentur.

4.5.2 Lendutan Teoritis



Gambar 4.31 Contoh nilai beban batas elastis

Dalam perhitungan lendutan teoritis, digunakan metode *conjugate beam*. Metode ini merupakan metode yang digunakan pada perhitungan rotasi dan juga lendutan pada sebuah balok. Analisis perhitungan lendutan secara teoritis dengan metode *conjugate beam* dilakukan saat balok masih dalam keadaan elastis. Maka dari itu, lendutan teoritis diperoleh dengan menggunakan beban pada saat mencapai batas elastis. Batas elastis didapat pada grafik yakni ketika grafik sudah mulai tidak linear. Seperti pada contoh gambar 4.31 diperoleh nilai P pada batas elastis sebesar 2300 Kg. Lalu dengan perhitungan balok sederhana diperoleh $R_a = R_b = \frac{1}{2} (2300) = 1150$ Kg. Sedangkan berat sendiri beton diperhitungkan dengan berat jenis yaitu 2400 kg/m^3 . Dengan dimensi $0,15 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ maka didapat berat sendiri beton yaitu sebesar 90 kg/m . Sehingga didapatkan momen maksimum pada tengah bentang sebesar $542,8125 \text{ Kgm}$. Lalu momen tersebut digunakan untuk perhitungan *conjugate beam* seperti contoh berikut :

dik :

$$W_{\text{beton}} = 90 \text{ kg/m}$$

$$P = 2300,00 \text{ Kg}$$

$$\frac{1}{2} P = 1150 \text{ Kg}$$

$$L_1 = 0,45 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,3 \text{ m}$$

$$L = 1,5 \text{ m}$$

Dicari reaksi (R_a) :

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{2} P + W_{\text{beton}} \times L/2 \\ &= 1217,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan $R_a = R_b$; lalu dicari momen dititik a ($x = 0,45 \text{ m}$)

$$\begin{aligned} M_a &= (R_a \times L_1) - (W_{\text{beton}} \times L_1 \times L_1/2) \\ &= 547,875 - 9,1125 \\ &= 538,7625 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Dan dicari momen maksimum di tengah bentang ($x = 0,75 \text{ m}$)

$$\begin{aligned} M_u &= (R_a \times L/2) - (W_{\text{beton}} \times L/2 \times L/4) - (\frac{1}{2} P \times L_2) \\ &= 913,125 - 25,3125 - 345 \\ &= 542,8125 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Lalu dengan metode *Conjugate Beam* (skema dapat dilihat pada **Lampiran 3**), momen hasil reaksi beban tersebut dijadikan sebagai beban imajiner sehingga didapat nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q1 &= 2/3 \times L1 \times Ma \\ &= 161,62875 \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q2 &= 0,3 \times Ma \\ &= 161,62875 \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q3 &= 2/3 \times L2 \times (Mu - Ma) \\ &= 0,81 \text{ kgm}^2 \end{aligned}$$

$$Ra' = Rb' = 324,068 \text{ kgm}^2$$

Sehingga didapat momen conjugate dengan perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} Mu' &= (Ra \times 0,75) - (Q1 \times 0,45) - (Q2 \times 0,15) - (Q3 \times 0,1) \\ &= 145,992375 \text{ Kgm}^3 \end{aligned}$$

Untuk mendapat lendutan teoritis, diketahui :

$$\begin{aligned} Ix &= 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,00019531 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E \text{ (NCA)} &= 3015,35 \text{ kg/mm}^2 \\ &= 3015350874 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \Delta l &= Mu' / E I \\ &= 0,00024789 \text{ m} \\ &= 0,24789187 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan lendutan secara teoritis seperti diatas, diperoleh lendutan teoritis saat beban elastis maksimum sebesar 0,25 mm dengan beban elastis sebesar 2300 Kg. Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada benda uji yang lain didapatkan hasil perhitungan teoritis.

4.5.3 Perbandingan Lendutan Aktual dan Teoritis

Perbedaan antara perhitungan teoritis dengan hasil aktual lendutan dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.28

Perbandingan lendutan aktual dan teoritis

Benda Uji Balok	P (Kg)	ΔL (mm)		KR (%)
		aktual	teoritis	
NCA 1	2500	2,28	0,27	88%
NCA 2	2300	2,06	0,25	88%
NCA 3	1900	2,26	0,21	91%
RCA 4	2300	1,86	0,36	81%
RCA 5	1900	2,19	0,30	86%
RCA 6	2200	1,80	0,34	81%

Berdasarkan data yang ditampilkan pada tabel diatas , didapatkan perbedaan antara lendutan teoritis dan aktual dengan kesalahan relatif hingga +- 90%. Selisih yang diperoleh pada nilai teoritis dengan yang aktual bisa disebabkan banyak faktor. Dalam hal ini yang paling berperan dalam kesalahan tersebut adalah kesalahan data akibat perbedaan alat. Dalam data uji kuat tekan silinder terlihat perbedaan grafik yang terlampau jauh jika kita bandingkan Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan Silinder RCA (Gambar 4.21). dalam grafik tersebut terlihat bahwa adanya perbedaan regangan antara silinder yang diuji dengan ekstensometer dan juga silinder yang diuji dengan LVDT. Sehingga data yang didapat dengan alat uji ekstensometer digunakan sebagai data yang diolah untuk mencari modulus elastisitas. Dapat dilihat bahwa modulus elastisitas memiliki peran penting dalam perhitungan lendutan teoritis. Faktor lain yang menyebabkan kesalahan terlalu besar ialah dimensi balok. Dimensi balok benda uji yang kurang presisi menyebabkan inersia balok menjadi berbeda. Inersia balok digunakan juga di dalam perhitungan lendutan teoritis.

4.6 Kekakuan Balok

Untuk mengetahui pengaruh *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) dihitung pula nilai kekakuan pada balok. Nilai kekakuan didapatkan dari persamaan berikut ini :

$$K = \frac{P}{\Delta l} \dots\dots\dots (4-3)$$

Dimana :

- K = Kekakuan
P = Beban Kerja
 Δl = Deformasi

Berikut adalah nilai kekakuan dari benda uji balok bermetode *Self Compacted Concrete* (SCC) dengan agregat normal dan agregat kasar daur ulang (RCA) seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.29

Kekakuan Balok SCC bertulangan bambu

Benda Uji	Beban max (Kg)	0,4	Δl (mm)	Kekakuan (Kg/mm)	rata-rata (Kg/mm)
		Pmax (Kg)			
NCA 1	2500	1000	1,10	913,24	876,95
NCA 2	2700	1080	1,10	981,82	
NCA 3	2200	880	1,20	735,79	
RCA 4	2300	920	0,87	1057,47	1074,25
RCA 5	1900	760	0,64	1187,50	
RCA 6	2200	880	0,90	977,78	

Dari Tabel 4.29 didapatkan bahwa kekakuan balok SCC berulangan bambu dengan agregat kasar daur ulang lebih tinggi dari balok SCC agregat normal. Hal ini disebabkan dari perbedaan sifat fisik dan kimia pada agregat daur ulang yang menyebabkan perbedaan sifat mekanik beton sehingga menyebabkan nilai kekakuan balok SCC agregat kasar daur ulang bisa lebih tinggi.

4.7 Analisa Pola Retak Balok

Analisa pola retak dilakukan guna mengetahui hubungan antara pola retak terhadap beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji balok. Pola retak dilakukan dengan mengelompokkan hasil-hasil benda uji menjadi dua berdasarkan material agregat kasar yang digunakan yakni *Normal Coarse Aggregate* (NCA) dan *Recycled Coarse Aggregate* (RCA). Analisis ini juga bertujuan untuk mengetahui respon retak serta keruntuhan yang terjadi pada balok bertulangan bambu bermetode *Self Compacted Concrete* (SCC). Pengamatan pola retak saat pengujian dilakukan dengan memberi tanda menggunakan spidol berwarna yang melapisi retak yang terjadi dan mencatat beban saat retak terjadi agar mempermudah pengamatan. Berikut ini dijelaskan analisa pola retak tiap benda uji berdasarkan agregat kasarnya.

4.6.1 Pola Retak Balok NCA

Pada balok bertulang bambu dengan agregat NCA (*gambar 4.32*) mengalami retak lentur pada saat mendapat beban 2500 Kg. Retak pada balok tidak diawali dengan retak rambut, melainkan retak lentur yang menandakan tulangan sudah leleh. Hal tersebut juga menandakan bahwa balok tidak mengalami masa plastis (langsung runtuh). Retak dimulai dari jarak 56 cm dari tumpuan sendi (kiri). Detail dapat dilihat pada *gambar 4.33*.



Gambar 4.32 Balok 1 (NCA) setelah diuji



Gambar 4.33 Detail retak balok 1 (NCA)

Pada balok bertulang bambu dengan agregat NCA (*gambar 4.34*) mengalami retak lentur pada saat mendapat beban 2700 Kg. Retak pada balok tidak diawali dengan retak rambut, melainkan retak lentur yang menandakan tulangan sudah leleh. Pada pengujian benda uji 2 ini didapat masa plastis yaitu saat beban 2300 kg. Sehingga 2300 Kg menjadi beban pada saat batas elastis balok. Retak pertama terletak pada jarak 69 cm dari tumpuan sendi sedangkan retak kedua dimulai dari jarak 97,5 cm dari tumpuan sendi (52,5 dari tumpuan roll). Detail dapat dilihat pada *gambar 4.35*.



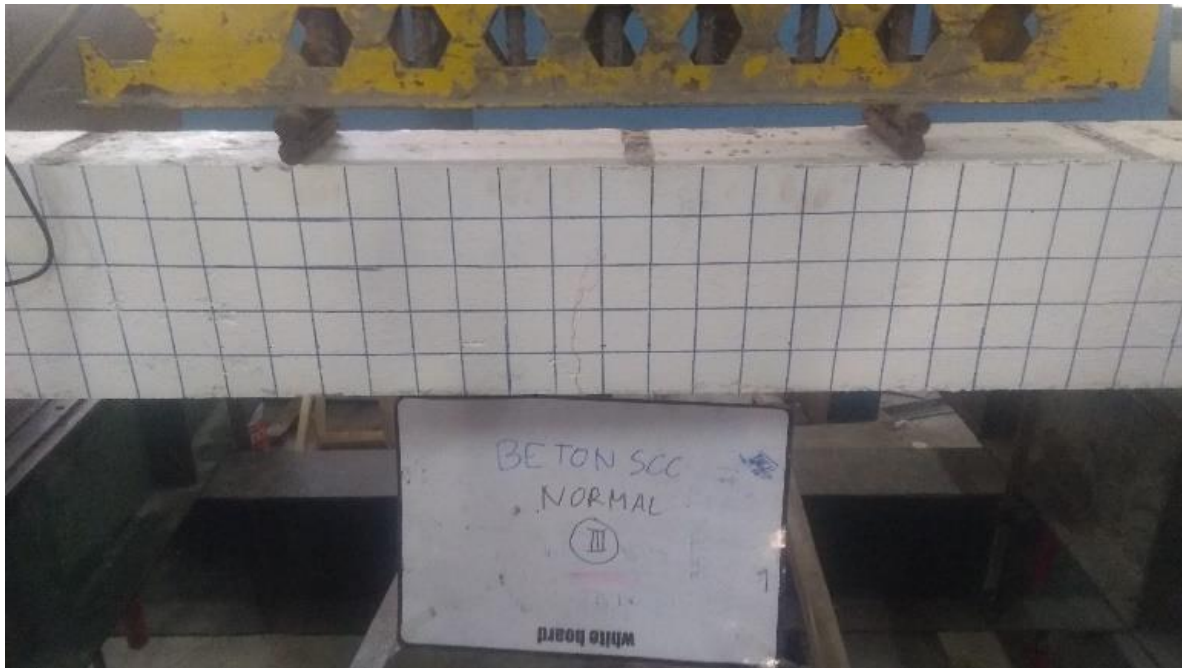
Gambar 4.34 Balok 2 (NCA) setelah diuji



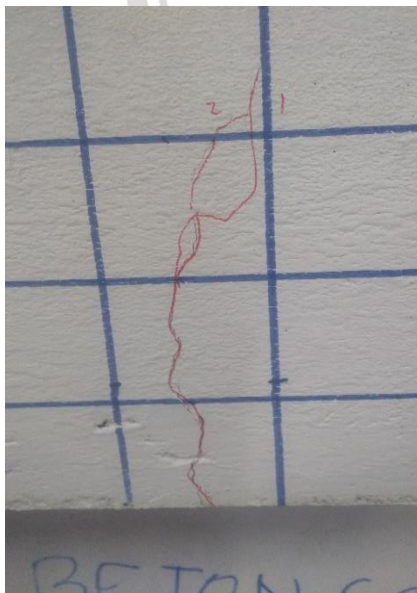
Gambar 4.35 Detail retak balok 2 (NCA)

Pada balok bertulang bambu dengan agregat NCA (*gambar 4.36*) mengalami retak lentur pada saat mendapat beban 1900 Kg. Retak pada balok tidak diawali dengan retak

rambut, melainkan retak lentur yang menandakan tulangan sudah leleh. Pada saat ditambah beban, balok masih mampu menahan beban hingga 2200 Kg (terjadi retak kedua). Sehingga 1900 Kg menjadi beban pada batas elastis balok. Retak pertama terjadi pada jarak 73 cm dari tumpuan sendi, sedangkan retak kedua terjadi berupa cabang dari retak pertama. Detail dapat dilihat pada *gambar 4.37*.



Gambar 4.36 Balok 3 (NCA) setelah diuji



Gambar 4.37 Detail retak balok 3 (NCA)

4.6.1 Pola Retak Balok RCA

Pada balok bertulang bambu dengan agregat RCA (*gambar 4.38*) mengalami retak lentur pada saat mendapat beban 2300 Kg. Retak pada balok tidak diawali dengan retak rambut, melainkan retak lentur yang menandakan tulangan sudah leleh. Ketika retak terjadi, beban turun ke 1950 kg. Dan saat dinaikkan kembali balok tersebut masih mampu menahan hingga 2300 kg (terjadi retak kedua). Detail dapat dilihat pada *gambar 4.39*.



Gambar 4.38 Balok 4 (RCA) setelah diuji

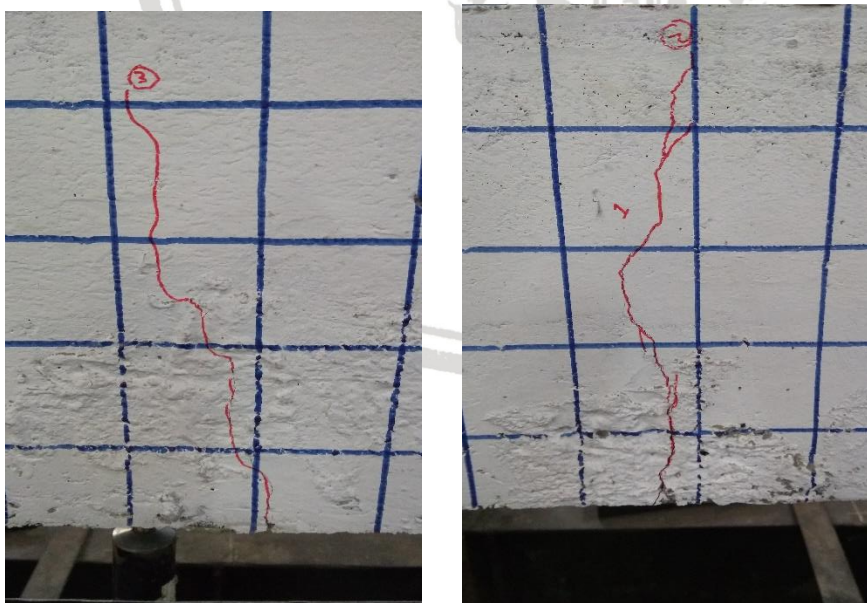


Gambar 4.39 Detail retak balok 4 (RCA)

Pada balok bertulang bambu dengan agregat RCA (*gambar 4.40*) mengalami retak lentur pada saat mendapat beban 1900 Kg. Retak pada balok tidak diawali dengan retak rambut, melainkan retak lentur yang menandakan tulangan sudah leleh. Ketika retak terjadi, beban turun ke 1300 kg. Dan saat dinaikkan kembali balok tersebut masih mampu menahan hingga 1600 kg (terjadi retak kedua). Retak pertama dimulai dari jarak 39 cm dari tumpuan sendi, dan retak kedua merupakan cabang dari retak pertama. Sedangkan retak ketiga dimulai dari jarak 81 cm dari tumpuan sendi. Detail dapat dilihat pada *gambar 4.41*.



Gambar 4.40 Balok 5 (RCA) setelah diuji



Gambar 4.41 Detail retak balok 5 (RCA)

Pada balok bertulang bambu dengan agregat RCA (*gambar 4.42*) mengalami retak lentur pada saat mendapat beban 2200 Kg. Retak pada balok tidak diawali dengan retak

rambut, melainkan retak lentur yang menandakan tulangan sudah leleh. Ketika retak terjadi, beban turun ke 1500 kg. Dan saat dinaikkan kembali balok tersebut masih mampu menahan hingga 1900 kg (retak pertama membesar). Retak pertama terjadi pada jarak 40 cm dari tumpuan roll (110 cm dari tumpuan sendi). Detail dapat dilihat pada *gambar 4.43*.



Gambar 4.42 Balok 6 (RCA) setelah diuji



Gambar 4.43 Detail retak balok 6 (RCA)

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian beton bertulangan bambu dengan metode *Self Compacted Concrete* (SCC) ditemukan beberapa kesimpulan yang dapat diambil khususnya perbedaan antara agregat kasar normal (NCA) dengan agregat kasar daur ulang (RCA). Kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut :

1. Ditemukan pengaruh agregat kasar daur ulang (RCA) terhadap balok beton bertulangan bambu yang menggunakan metode *Self Compacted Concrete* (SCC) berupa berat isi beton yang berbeda, dimana berat isi beton dengan material *Natural Coarse Aggregate* (NCA) rata-rata lebih berat dibanding dengan berat isi beton dengan material *Recycled Coarse Aggregate* (RCA). Dalam pengujian kuat tekan silinder dan pengujian kuat lentur balok didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa penggunaan *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) pada beton dapat mengurangi kekuatan beton tersebut. Hal ini disebabkan oleh adanya komposisi mortar dalam *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) dan bertambahnya bidang temu akibat proses penggilingan yang mengurangi kekuatan dari agregat kasar tersebut.
2. Dari hasil pengujian kuat tekan silinder ditemukan bahwa beton dengan material *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dibanding dengan beton bermaterial agregat kasar normal. Dari hasil pengujian kuat lentur balok dapat dilihat bahwa beban yang dapat ditanggung balok dengan material *Natural Coarse Aggregate* (NCA) dengan rata-rata 2466,67 Kg lebih besar dibanding dengan balok dengan material *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) dengan rata-rata beban 2133,33 Kg. Dalam nilai lendutan yang didapat, benda uji bermaterial NCA memiliki nilai rata-rata 2,2 mm dan nilai lendutan dari benda uji bermaterial RCA yaitu 1,95 mm. Sedangkan dalam nilai kekakuan balok ditemukan bahwa balok uji SCC bertulangan bambu dengan material *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) lebih tinggi dibanding dengan balok uji SCC bertulangan bambu dengan material *Normal Coarse Aggregate* (NCA).

3. Dalam lingkup pola retak antara balok dengan agregat normal dan balok dengan agregat kasar daur ulang memiliki hasil yang bervariasi, dari 6 benda uji balok yang diuji cenderung tidak menimbulkan pola yang sama (bervariasi). Namun yang membedakan keruntuhan antara benda uji balok SCC bertulang bambu dengan material *Natural Coarse Aggregate* (NCA) dan *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) dapat terlihat dari grafik benda uji balok NCA yang menunjukkan bahwa pada benda uji tersebut 2 dari 3 benda uji NCA memiliki daerah plastis yang menunjukkan bahwa balok tersebut memiliki sifat plastis (masih dapat bertahan saat tulangan leleh). Berbeda dengan benda uji balok dengan material *Recycled Coarse Aggregate* (RCA) yang tidak memiliki daerah plastis dalam grafik yang telah didapat.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian ini, maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlunya kontrol yang lebih baik terhadap komposisi material dan proses pencampuran beton untuk mencegah pengaruh dari faktor-faktor lain yang tidak diinginkan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat *Superplasticizer* terhadap mortar pada *Recycled Coarse Aggregate* (RCA).
3. Diperlukannya penelitian lebih lanjut tentang *mix design* untuk *Self Compacted Concrete* (SCC) dengan mutu rendah. Disarankan untuk penggunaan metode *Self Compacted Concrete* (SCC) hanya pada beton mutu tinggi.
4. Dalam penelitian selanjutnya bisa dilakukan perencanaan dimensi balok yang efektif dengan acuan dari nilai lendutan pada beban maksimum pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Renny (2017). *“Pengaruh Pola Tulangan Geser Bambu pada Pengujian Geser-Lentur Balok”*. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang
- Asroni, Ali. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Chamidah, Lina Laila (2017). *“Perbandingan Kapasitas Kuat Lentur pada Balok Tulangan Bambu Pilin dengan Kulit dan Tanpa Kulit”*. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang
- Dipohusodo, Istimawan. 1996. *Struktur Beton Bertulang*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Mohamed, El-Reedy. *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*
- Mulyanto, T. 2015. *Analisis Sifat Mekanis Beton SCC Mutu Tinggi Dengan Pemanfaatan Teknologi High Volume Fly Ash Concrete*. Universitas Muhammadiyah: Surakarta
- Nasional, Badan Standarisasi. *"SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal."* BSN, Jakarta (2000).
- Nasional, B.S., 2013. *SNI 03-2847-2013 Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Nasional, Badan Standarisasi. *"SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal."* BSN, Jakarta (2000).
- Nawy, Edward G. 2010. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : Penerbit PT. Refika Aditama

Nurlina, Siti. (2011). *Teknologi Bahan I*. Malang: Bergie Media.

Nurlina, Siti. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bergie Media.

Okamura, H.M. and Ouchi, M. (2003). *Self-Compacting Concrete*. Journal of advances Concrete Technology.

Paturahman, Jauhar Fajrin. Dwi Anggraini Kusuma. *Aplikasi Bambu Pilinan sebagai Tulangan Balok Beton*.

R. Park, T. Paulay. *Reinforced Concrete Structure*.

Sari, Rika Amenetya (2017). “*Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat lentur Beton Porous dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)*”. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang

SNI 4431:2011 : *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*.

Sika Viscocrete 10. 2007. HRWRRe – High Range Water Reducer Retarder.

<http://www.sika.com.au/cmc/Datasheets/tds/VISCORETE-10-621.pdf>. (diakses 7 Agustus 2018)

Sika Viscocrete 10. <http://www.autospec.co.za/> (diakses 8 Agustus 2018)